



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Análisis Comparativo del desempeño sísmico y costos entre los disipadores Shear Link Bozzo y Taylor aplicados en una edificación multifamiliar, Trujillo”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Civil

AUTORES:

Miranda Monrroy, Yerson Henry (ORCID: 0000-0001-8950-7972)

Ontiveros Beltrán, Yenifer Gelen (ORCID: 0000-0002-4533-152X)

ASESORES:

Dr. Valdivieso Velarde, Alan Yordan (ORCID: 0000-0002-8179-2809)

Mg. Farfán Córdova, Marlon Gastón (ORCID: 0000-0001-9295-775)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño Sísmico y Estructural

TRUJILLO - PERÚ

2020

DEDICATORIA

A Dios por darme la fortaleza y la sabiduría necesaria para iniciar, continuar y culminar la presente investigación.

A mis padres, Nancy Monrroy Castillo y Marco Miranda Vargas, por el apoyo constante e incondicional que me brindaron en todo el transcurso de la carrera profesional.

A mi abuela, en el cielo, que fue quien me motivó a continuar esta hermosa profesión.

Miranda Monrroy Yerson

A mis padres, Dina Beltrán Muedas y Gilber Ontiveros Huari, que sin su apoyo no hubiera logrado una meta profesional, por estar a mi lado en mi etapa universitaria, por el tiempo, esfuerzo, apoyo moral y sus experiencias compartidas.

*A mis maestros, por su tiempo, paciencia y por las clases y lecciones impartidas en este tiempo.
A mis compañeros y amigos que de alguna u otra manera aportaron y estuvieron en todo momento en el transcurso de aprendizaje y con los cuales formamos vínculos para toda la vida.*

Ontiveros Beltrán Yenifer

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecemos a Dios, por otorgarnos unas familias maravillosas, quienes han creído siempre en nosotros, por protegernos durante el camino de aprendizaje y por ayudarnos a superar obstáculos.

“Así que no temas porque yo estoy contigo; no te angusties, porque yo soy tu Dios. Te fortaleceré y te ayudare; te sostendré con mi diestra victoriosa”

Isaías 41:10

A nuestros padres quienes son nuestra motivación y a la vez apoyo incondicional en este tiempo, por todo el sacrificio que han hecho por nosotros, por su constante impulso a superarnos día tras día y lograr ser un ejemplo.

También agradecemos a nuestros docentes que estuvieron en cada uno de los peldaños de este viaje hacia un futuro profesional, quienes impartieron catedra, experiencias, conocimiento y anécdotas de vida profesional que jamás olvidaremos.

A nuestros amigos y compañeros que conocimos y aportaron grandemente en esta experiencia, que nos brindaron apoyo y momentos gratos, que estuvieron presentes en buenos y malos momentos.

Finalmente, a nuestros asesores quienes nos guiaron para poder culminar nuestro proyecto con éxito, por su buena predisposición y por su apoyo profesional.

ÍNDICE

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Página del jurado	iv
Declaratoria de autenticidad	v
Índice	vi
Índice de cuadros.....	x
Índice de figuras	xii
Resumen	xvi
Abstract	xvii
I. Introducción	1
1.1 Realidad problemática.....	1
1.2 Trabajos previos	2
1.3 Teorías relacionadas al tema	6
1.3.1 La normativa peruana y los sistemas de disipación de energía.....	6
1.3.2 Sistemas de protección sísmica y balance energético	7
1.3.3 Clasificación de los sistemas de Protección sísmica	12
1.3.4 Disipadores de energía	17
1.3.5 Disipadores Shear Link Bozzo (SLB).....	18
1.3.6 Disipadores Taylor	27
1.4 Formulación de Problema.	38
1.5 Justificación del Estudio.....	38
1.5.1 Técnico.	38
1.5.2 Teórico.	39
1.5.3 Metodológico.	39
1.5.4 Práctico.....	39
1.6 Hipótesis.....	39
1.7 Objetivos.	40
II. Método.....	40
2.1 Diseño de investigación.	40
2.2 Variables de Operalización.	42
2.3 Población, muestra.	40
2.3.1 Población.....	41

2.3.2 Muestra.....	41
2.4 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.	41
2.4.1 Técnicas.....	41
2.4.2 Instrumentos.	41
2.5 Método de análisis de datos.	41
2.6 Aspectos éticos.	41
III. Resultados.....	43
3.1 Diseño Arquitectónico.....	43
3.1.1 Concepción general.	43
3.1.2 Entorno Urbano.	43
3.1.3 Descripción arquitectónica.....	44
3.2 Estudio de Mecánica de Suelos	47
3.2.1 Generalidades	47
3.2.2 Resultados de Estudio de Mecánica de Suelos.....	47
3.3 Análisis Sismorresistente	50
3.3.1 Generalidades	50
3.3.2 Metrado de Cargas Verticales	51
3.3.3 Estructuración.....	52
3.3.3.1 Predimensionamiento de Losa Aligerada.....	52
3.3.3.2 Predimensionamiento de Vigas.....	53
3.3.3.3 Predimensionamiento de Columnas	55
3.3.4 Propiedades de los materiales	57
3.3.5 Modelamiento Estructural	58
3.3.5.1 Parámetros sísmicos	59
3.3.6 Análisis Estático.....	65
3.3.6.1 Generalidades	65
3.3.6.2 Determinación de los parámetros sísmicos	65
3.3.6.3 Calculo de la fuerza cortante en la base	66
3.3.7 Análisis Dinámico	69
3.3.7.1 Generalidades.....	69
3.3.7.2 Determinación de las irregularidades	69
3.3.7.3 Identificación del Sistema Estructural.....	71
3.3.7.4 Espectro de Pseudo-aceleraciones	72
3.3.7.5 Resultados de Análisis	73

3.3.7.6 Fuerza Cortante de Diseño	78
3.3.7.7 Análisis de Modos y Frecuencias	79
3.3.7.8 Junta de Separación Sísmica	80
3.3.8 Análisis Tiempo – Historia	80
3.3.8.1 Generalidades.....	80
3.3.8.2 Determinación del Espectro Base de Pseudo-aceleraciones.....	80
3.3.8.3 Selección de Registros Sísmicos.....	81
3.3.8.4 Escalamiento de Registros Sísmicos	84
3.3.8.5 Determinación del Sismo de Diseño	86
3.3.9 Análisis de la estructura con Disipadores Taylor.....	90
3.3.9.1 Generalidades.....	90
3.3.9.2 Determinación de la distorsión objetivo	92
3.3.9.3 Cálculo del factor de reducción:	93
3.3.9.4 Cálculo del amortiguamiento efectivo (β_{eff}):	93
3.3.9.5 Cálculo del amortiguamiento viscoso (β_H):	94
3.3.9.6 Cálculo de la rigidez.....	94
3.3.9.7 Cálculo del coeficiente de amortiguamiento	95
3.3.9.8 Resultado del análisis con disipadores Taylor:	98
3.3.9.9 Diseño de los disipadores Taylor.....	101
3.3.9.10 Verificación de la resistencia del brazo metálico	102
3.3.10 Análisis de la estructura con disipadores Shear Link Bozzo (SLB).	105
3.3.10.1 Generalidades	105
3.3.10.2 Predimensionamiento de los disipadores SLB	108
3.3.10.3 Resultados del análisis con los disipadores SLB	110
3.3.10.4 Diseño de los disipadores SLB	112
3.3.11 Análisis comparativo entre los resultados obtenidos de los disipadores Taylor y Shear Link Bozzo.	115
3.3.11.1 Desplazamientos dependientes del tiempo:.....	115
3.3.11.2 Derivas de entrepiso.....	117
3.3.11.3 Periodos fundamentales de vibración.....	118
3.3.11.4 Aceleraciones en los centros de masa (CM)	119
3.3.11.5 Porcentaje de energía disipada.....	120
3.3.11.6 Fuerza cortante en base.....	121
3.3.11.7 Masas por piso	122

3.3.12 Análisis de Costos.	123
3.3.13 Diseño Estructural	125
IV. Discusión	127
V. Conclusiones	129
VI. Recomendaciones	133
Referencias	135
Anexos	139

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación de los Sistemas de Protección Sísmica (SPS)	12
Cuadro 2. Parámetro λ para valores de α	31
Cuadro 3. Límites para la distorsión de entrepiso.....	32
Cuadro 4. Niveles de movimiento sísmico según SEAOC.....	33
Cuadro 5. Niveles recomendados de desempeño esperado según comité VISION 2000-SEAOC.....	34
Cuadro 6. Estado de daño y niveles de desempeño según comité VISION 2000-SEAOC.....	34
Cuadro 7. Códigos de tipos de estructuras según FEMA	35
Cuadro 8. Resultados de la Calicata 1	48
Cuadro 9. Resultados de la Calicata 2	48
Cuadro 10. Resultados de la Calicata 3	49
Cuadro 11. Resultados de la Calicata 4	49
Cuadro 12. Resultados de la Calicata 5	50
Cuadro 13. Estimación del peso de la Edificación según E.030.....	51
Cuadro 14. Peso de la edificación multifamiliar.....	52
Cuadro 15. Espesor o peralte mínimo, h.....	52
Cuadro 16. Áreas tributarias de columnas más desfavorables.....	55
Cuadro 17. Factores a y n según el tipo de columna.	56
Cuadro 18. Cálculo del peso total por gravedad en cada columna (PG)	56
Cuadro 19. Resumen de las dimensiones de las columnas.	57
Cuadro 20. Propiedades de los materiales	57
Cuadro 21. Factores de Zona “Z”	59
Cuadro 22. Factor de Suelo “S”.....	60
Cuadro 23. Factor de Uso “U”.....	61
Cuadro 24. Periodo TP y TL”	62
Cuadro 25. Coeficiente de Reducción Sísmica.....	63
Cuadro 26. Factor de Irregularidad en Altura.....	64
Cuadro 27. Factor de Irregularidad en Planta	64
Cuadro 28. Fuerzas Resultantes de entrepiso, Eje X	68
Cuadro 29. Fuerzas Resultantes de entrepiso, Eje Y	69
Cuadro 30. Fuerzas Cortantes en Columnas y Placas, Eje X.....	72
Cuadro 31. Fuerzas Cortantes en Columnas y Placas, Eje Y.....	72

Cuadro 32. Límites para la distorsión de entrepiso.....	74
Cuadro 33. Distorsiones en CM, según sismo dinámico. Eje X.....	74
Cuadro 34. Distorsiones en CM, según sismo dinámico. Eje Y.....	75
Cuadro 35. Cortante basal dinámico.....	76
Cuadro 36. Cortante Basal mínimo.....	78
Cuadro 37. Condición de Cortante mínimo, eje X y Y.....	78
Cuadro 38. Análisis Modal con sus masas participativas.....	79
Cuadro 39. Derivas por nivel con Sismo Ica-Caso 1.....	87
Cuadro 40. Derivas por nivel con Sismo Ica-Caso 2.....	87
Cuadro 41. Derivas por nivel con Sismo Moquegua-Caso 1.....	88
Cuadro 42. Derivas por nivel con Sismo Moquegua-Caso 2.....	88
Cuadro 43. Derivas por nivel con Sismo Moyobamba-Caso 1.....	89
Cuadro 44. Derivas por nivel con Sismo Moyobamba-Caso 2.....	89
Cuadro 45. Propiedades del brazo metálico HSS 7.50"x0.50".....	94
Cuadro 46. Cálculo de la rigidez del brazo metálico por disipador Taylor.....	95
Cuadro 47. Ángulos de inclinación por disipador Taylor.....	95
Cuadro 48. Desplazamientos relativos Φ_{rj} en la dirección X.....	96
Cuadro 49. Desplazamientos relativos Φ_{rj} en la dirección Y.....	96
Cuadro 50. Cálculos realizados para obtener el coeficiente de amortiguamiento en eje X.....	97
Cuadro 51. Cálculos realizados para obtener el coeficiente de amortiguamiento en eje Y.....	97
Cuadro 52. Propiedades de cada disipador Taylor.....	97
Cuadro 53. Derivas de entrepiso con disipadores Taylor.....	98
Cuadro 54. Control de giro en planta con disipadores Taylor.....	98
Cuadro 55. Modos de vibración con disipadores Taylor.....	99
Cuadro 56. Energía disipada por tipo usando disipadores Taylor.....	100
Cuadro 57. Elección del tipo de disipador Taylor.....	101
Cuadro 58. Propiedades físicas del perfil metálico HSS 7.5"x0.5".....	102
Cuadro 59. Propiedades del disipador de tipo SLB2 30_2.....	109
Cuadro 60. Derivas de entrepiso con disipadores SLB.....	110
Cuadro 61. Control de giro en planta con disipadores SLB.....	110
Cuadro 62. Modos de vibración con disipadores Taylor.....	111
Cuadro 63. Energía disipada por tipo usando disipadores SLB.....	111
Cuadro 64. Elección del tipo de disipador SLB.....	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de un grado de libertad y sus fuerzas actuantes en la masa	8
Figura 2. Distribución de energía de estructura convencional	11
Figura 3. Distribución de energía de estructura con disipadores de energía.....	11
Figura 4. Diagrama de flujo del Sistema de Disipación Pasiva de Energía	13
Figura 5. Diagrama de flujo del Sistema de Disipación Activo de Energía.....	14
Figura 6. Diagrama esquemático del Sistema de Disipación Activo en una edificación.....	15
Figura 7. Diagrama de flujo del Sistema de Disipación Híbrido de Energía	15
Figura 8. Diagrama de flujo del Sistema de Disipación Semi-activo de Energía.	16
Figura 9. Diagrama esquemático del Sistema de Disipación Semi-activo en una edificación ...	16
Figura 10. Lazo histerético de un dispositivo dependiente de la velocidad.....	17
Figura 11. Lazo histerético de un dispositivo dependiente del desplazamiento. A) metálico, B) friccional.....	17
Figura 12. Lazo histerético de un dispositivo dependiente del desplazamiento y la velocidad. .	17
Figura 13. Clasificación de los disipadores de energía.	18
Figura 14. Dispositivo SLB trabajando por corte	19
Figura 15. Dispositivo SLB trabajando a flexión (superando corte).....	19
Figura 16. Esquema del primer modelo sometido a ensayo experimental.....	20
Figura 17. Resultados del primer modelo sometido a ensayo experimental. (A) Aceleración (B) Desplazamientos.	20
Figura 18. Geometría del disipador SL30_2 – año 2002	21
Figura 19. Lazo histerético del disipador SL30_2 sometido a cargas cíclicas – año 2002.....	21
Figura 20. Lazo histerético del disipador SL40_3 sometido a cargas cíclicas – año 2016.....	22
Figura 21. Curva monótonica del disipador SL40_3 – año 2016.....	22
Figura 22. Geometría del disipador SLB tipo peine.....	23
Figura 23. Rigidez que aporta el marco y la ventana de un disipador SLB con 4 ventanas.	24
Figura 24. Modelo matemático de un sistema diagonal-disipador SLB.	25
Figura 25. Disposiciones para el disipador SLB.	25
Figura 26. Fábrica Lindley – colocación de disipadores SLB.	26
Figura 27. Casino Mubarak – colocación de disipadores SLB.	26
Figura 28. Elevación frontal y Lateral de la Torre del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez – Perú.....	27

Figura 29. Disposición final de los disipadores en la torre del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez – Perú.....	28
Figura 30. Desplazamientos obtenidos al incorporar los disipadores Taylor en la torre del Aeropuerto Jorge Chávez – Perú.....	28
Figura 31. Relación velocidad vs fuerza en el disipador para $\alpha=1$, $\alpha>1$ y $\alpha<1$	29
Figura 32. Lazo histerético de un disipador de fluido viscoso con movimiento armónico para diferentes valores de α	30
Figura 33. Ángulo de inclinación θ_j y desplazamiento relativo del disipador Taylor Φ_{rj}	36
Figura 34. Sistema de disipador de fluido viscoso Taylor ubicado de manera diagonal en un pórtico.....	37
Figura 35. (a) Diagrama de bloque. (b) Modelo matemático del Sistema de disipador de fluido viscoso Taylor.	37
Figura 36. Disposiciones de los disipadores de fluido viscoso Taylor.	38
Figura 37. Plano de Ubicación y Localización del proyecto multifamiliar.	44
Figura 38. Plano de distribución del primer nivel del proyecto multifamiliar.	45
Figura 39. Plano de distribución del segundo al octavo nivel del proyecto multifamiliar.	46
Figura 40. Plano de Ubicación y Localización del EMS tomado como base.	47
Figura 41. Factores para cada tramo de la losa aligerada más desfavorable.....	53
Figura 42. Modelamiento de la edificación en ETABS.	58
Figura 43. Mapa de zonas sísmicas del Perú.....	60
Figura 44. Espectro de Respuesta, Eje X.	73
Figura 45. Espectro de Respuesta, Eje Y.	73
Figura 46. Desplazamientos en CM, según sismo dinámico en eje X 75	75
Figura 47. Desplazamientos en CM, según sismo dinámico en eje Y 76	76
Figura 48. Fuerzas Inerciales de entrepiso, según sismo dinámico en eje X 77	77
Figura 49. Fuerzas Inerciales de entrepiso, según sismo dinámico en eje Y 77	77
Figura 50. Espectro de Respuesta con $R=1$	81
Figura 51. Acelerograma Real de Ica (15/08/2007). Este-Oeste.....	82
Figura 52. Acelerograma Real de Ica (15/08/2007). Norte-Sur.....	82
Figura 53. Acelerograma Real de Moquegua (07/07/2001). Este-Oeste 83	83
Figura 54. Acelerograma Real de Moquegua (07/07/2001). Norte-Sur.....	83
Figura 55. Acelerograma Real de Moyobamba (25/09/2005). Este-Oeste 83	83
Figura 56. Acelerograma Real de Moyobamba (25/09/2005), Norte-Sur.....	84

Figura 57. Acelerograma Escalado de Ica (15/08/2007), Este-Oeste.	84
Figura 58. Acelerograma Escalado de Ica (15/08/2007), Norte-Sur.....	84
Figura 59. Acelerograma Escalado de Moquegua (07/07/2001), Este-Oeste.	85
Figura 60. Acelerograma Escalado de Moquegua (07/07/2001), Norte-Sur.....	85
Figura 61. Acelerograma Escalado de Moyobamba (25/09/2005), Este-Oeste.	86
Figura 62. Acelerograma Escalado de Moyobamba (25/09/2005), Norte-Sur.	86
Figura 63. Disposición del sistema de disipación de energía Taylor	90
Figura 64. Modelamiento edificación multifamiliar con Taylor, vista 3D.	91
Figura 65. Modelamiento edificación multifamiliar con Taylor, vista en planta 1er piso.	91
Figura 66. Modelamiento edificación multifamiliar con Taylor, vista en planta 2do – 8vo piso.	92
Figura 67. Balance energético usando disipadores Taylor.....	99
Figura 68. Lazo histerético del disipador Taylor K4.	100
Figura 69. Disposición del sistema de disipación de energía SLB, mediante muros desacoplados.....	106
Figura 70. Modelamiento edificación multifamiliar con SLB, vista 3D.....	107
Figura 71. Modelamiento edificación multifamiliar con SLB, vista en planta.	107
Figura 72. Predimensionamiento de los disipadores SLB en el eje X.	108
Figura 73. Predimensionamiento de los disipadores SLB en el eje Y.	109
Figura 74. Balance energético usando disipadores SLB.	111
Figura 75. Lazo histerético del disipador SLB K30.....	112
Figura 76. Comparación del desplazamiento en el CM del piso N°4 entre disipadores SLB y Taylor - EJE X.....	116
Figura 77. Comparación de desplazamiento en el CM del piso N°6 entre disipadores SLB y Taylor - EJE Y.....	117
Figura 78. Comparación de derivas en el CM entre disipadores SLB y Taylor - EJE X.....	117
Figura 79. Comparación de derivas en el CM entre disipadores SLB y Taylor - EJE Y.....	118
Figura 80. Comparación de periodos fundamentales de vibración entre disipadores SLB y Taylor.	119
Figura 81. Comparación de aceleraciones en los CM entre disipadores SLB y Taylor - EJE X.	120
Figura 82. Comparación de aceleraciones en los CM entre disipadores SLB y Taylor - EJE Y.	120

Figura 83. Comparación de energía disipada entre disipadores SLB y Taylor.....	121
Figura 84. Comparación de Cortante basal entre disipadores SLB y Taylor - EJE X.	121
Figura 85. Comparación de Cortante basal entre disipadores SLB y Taylor - EJE Y.	122
Figura 86. Comparación de masas entre disipadores SLB y Taylor.	123
Figura 87. Detalle de viga 101 (0.30x0.65).....	126
Figura 88. Detalle de Columnas C1 y C2.....	126
Figura 89. Detalle de Placa 1	126

RESUMEN

En la actualidad se está presenciando una serie de movimientos sísmicos que alarman a especialistas y mucho más a la población es por ello que expertos aseguran que la ciudad de Trujillo se encuentra vulnerable frente a un sismo severo debido a la deficiencia de sus edificaciones. Por este motivo, el presente estudio tiene por objetivo analizar el comportamiento de los disipadores Shear Link Bozzo y Taylor aplicados en una edificación multifamiliar de 8 pisos, considerada dentro de la población de edificaciones multifamiliares del área geográfica de la Urbanización San Andrés I Etapa en la ciudad de Trujillo. Esta tesis está desarrollada considerando un diseño descriptivo comparativo de carácter cuantitativo, donde como principal instrumento de recolección de datos se utilizó una ficha técnica de observación la cual fue validada por expertos en la especialidad. El desarrollo se realizó con ayuda del programa estructural ETABS para el análisis y diseño de la edificación mediante el cual se obtuvo que la estructura convencional llegó a superar en un 19.43% las distorsiones máximas permitidas por la norma sismorresistente peruana; además se logró identificar irregularidad torsional provocada por la distancia entre el centro de masas y de rigideces. Asimismo, al analizar la edificación integrando los disipadores Taylor, se obtuvo reducciones de derivas en un 24.14% y a su vez este sistema no generó una variación en el periodo fundamental de la estructura. De igual modo, al aplicar los disipadores SLB a la edificación propuesta, se alcanzó distorsiones correspondientes a una disminución del 36.85% en comparación a la estructura convencional, igualmente se determinó que hubo un aumento de rigidez lateral provocado por estos dispositivos mecánicos por lo que se generó una deflación del periodo de la estructura. Finalmente se llegó a la conclusión que los disipadores Shear Link Bozzo son los que aportan una mejor respuesta a la edificación frente a cargas sísmicas y además a un menor costo que el disipador de fluido viscoso Taylor.

Palabras clave: Disipador Taylor, disipador Shear Link Bozzo, rigidez lateral, distorsiones máximas permisibles, energía disipada.

ABSTRACT

At present, a series of seismic movements are being witnessed that alert specialists and much more to the population, which is why experts say that the city of Trujillo is vulnerable to a severe earthquake due to the deficiency of its buildings. For this reason, the present study aims to analyze the behavior of Shear Link Bozzo and Taylor dissipaters applied in an 8-story multifamily building, considered within the population of multifamily buildings of the San Andrés I urban area. city of Trujillo. This thesis is developed considering a descriptive comparative design of qualitative character, where as the main instrument of data collection an observation technical data sheet was used, which was validated by experts in the specialty. The development was carried out with the help of the structural program ETABS for the analysis and design of the building through which it was obtained that the conventional structure came to surpass by 19.43% the maximum distortions allowed by the Peruvian seismic norm; In addition, it was possible to identify torsional irregularity caused by the distance between the center of mass and stiffness. Also, when analyzing the building integrating the Taylor dissipaters, drift reductions were obtained by 24.14% and this system did not generate a variation in the fundamental period of the structure. Similarly, when applying the SLB heatsinks to the proposed building, distortions corresponding to a decrease of 36.85% were achieved in comparison to the conventional structure, it was also determined that there was an increase in lateral rigidity caused by these mechanical devices. generated a deflation of the period of the structure. Finally, it was concluded that the Shear Link Bozzo dissipaters are the ones that provide a better response to the building against seismic loads and also at a lower cost than the Taylor viscous fluid heatsink.

Keywords: Taylor heatsink, Shear Link Bozzo heatsink, lateral stiffness, maximum allowable distortions, dissipated energy.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad problemática

Existen diversos fenómenos naturales que son muy beneficiosos para el hombre, como las lluvias, las cuales servían, desde tiempos antiguos, para la agricultura. No obstante, la naturaleza crea fenómenos los cuales son totalmente perjudiciales para el ser humano como, por ejemplo, los sismos. Actualmente, los movimientos sísmicos son los fenómenos naturales más usuales y responsables del mayor daño de las estructuras civiles, trayendo consigo un gran número de pérdidas humanas, como el ocurrido en el año 1970 en el departamento de Ancash, donde según Morales y Zavala (2008), cerca de las 15 horas del día domingo 30 de mayo, se presencié un fuerte movimiento telúrico, el cual alcanzó una magnitud de 7.8 grados en la escala de Richter, terminando con la vida de cerca de 69 mil personas y un total de 150 mil heridos, el sismo más perjudicial del Perú. Por ese motivo grandes organizaciones están invirtiendo en la investigación de alternativas que puedan reducir el impacto que estas generen a las estructuras.

En el Perú los sistemas de protección sísmica, tanto disipación de energía como aislamiento, ya están disponibles comercialmente y se están desarrollando muchos proyectos empleando estas tecnologías, siendo uno de los pioneros la torre del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez, el cual usa sistemas de disipación de energía por amortiguamiento. Según datos brindados por el Instituto Geofísico del Perú (IGP) en su portal web, en el del año 2018 se han registrado un total de 619 sismos, siendo la mayoría superficiales (profundidad 0-60 km) y ubicados la mayor parte en la costa peruana, esto debido a que dicha región se ubica al límite del cinturón de fuego, en donde soportan aproximadamente el 80% de toda la actividad sísmica y volcánica del planeta. Así mismo el IGP, en sus mapas sísmicos anuales, nos muestra el incremento sustancial que ha ido generándose a lo largo de los últimos años. Es preciso destacar que en el año 2016 se amplificó en un 67% el número de sismos reportados con respecto al año anterior.

De igual manera cabe resaltar que muchos expertos en el tema coinciden con la teoría del “silencio sísmico” de más de dos siglos y medio que presenta el país, lo cual demuestra que más pronto de lo esperado podría llegar un fenómeno de tal magnitud que, en Trujillo, sería catastrófico debido a que esta ciudad se caracteriza por sus casonas de valor histórico, las cuales ya presentan fallas en sus elementos estructurales por el pasar del tiempo y el material empleado para su construcción, lo que constituye un peligro latente

para los transeúntes, además de tener calles estrechas que ante este tipo de eventos causaría muchas pérdidas humanas; a todo ello se le adiciona la gran cantidad de viviendas construidas sin la supervisión de profesionales y técnicos, lo que los hace muy vulnerables.

En la ciudad de Trujillo, zona 4 (alto riesgo sísmico) según la norma E-030 “Diseño Sismorresistente” del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), hemos sido testigos de eventos que generan gran déficit en el país; como respuesta a esta necesidad, es indispensable una alternativa que sea óptima y que además de ello sea la más beneficiosa; es por ello que actualmente se está innovando nuevas tecnologías que tienen la función principal de reducir los desplazamientos laterales de las estructuras frente a este fenómeno.

En tal sentido y ante la necesidad de buscar no solo la calidad de las estructuras si no el bienestar de los ocupantes, el análisis comparativo entre disipadores Shear Link Bozzo y Taylor, permitirá determinar cuál de estas alternativas puede ser más conveniente en cuanto a su desempeño sísmico y a su costo, dos de los criterios más importantes a tener en cuenta en casi toda planificación de un proyecto.

1.2 Trabajos previos

Antecedentes Nacionales:

Alarcón y Asto (2017), realizaron una investigación titulada “Proyecto de reforzamiento estructural del edificio multifamiliar los Rosales de 10 niveles con disipadores de fluido viscoso”, el cual tuvo como objetivo principal analizar y diseñar el edificio en cuestión usando estos dispositivos de amortiguamiento cumpliendo con lo estipulado en la normativa sismorresistente peruana. Al modelar y analizar la estructura existente, los autores descubrieron que las derivas superaron el límite permitido por la norma peruana E030, por lo que propusieron añadirle disipadores de fluido viscoso. Los resultados del análisis a la estructura de 10 niveles incluyendo dichos dispositivos, demostraron que al implementar con ese sistema de disipación de energía se puede lograr una reducción de derivas de un 28% a un 58%, además se comprobó que la implementación de estos dispositivos no varía el periodo fundamental de la estructura el cual mantuvo su valor de $T=1.366$ seg. Adicionalmente se corroboró que se pudo conseguir una disminución de las fuerzas axiales en un intervalo de 68% al 91%, las fuerzas cortantes del 14% al 41% y los momentos flectores del 38% al 55%.

López y Plasencia (2017), hicieron una investigación titulada “Diseño estructural del edificio multifamiliar Las Flores del Golf de 9 niveles empleando disipadores de energía Shear Link Bozzo”, en la cual tuvieron como objetivo principal comprobar la efectividad y buen desempeño de los disipadores SLB en el diseño Sismorresistente de estructuras semejantes a las del objeto de estudio. Luego de obtener los planos arquitectónicos de la edificación, procedieron a modelarlo haciendo uso del programa Etabs2016.2.0 para su posterior análisis tanto estático como dinámico, Adicionalmente se diseñó la cimentación mediante el programa Safe2016 el utiliza el método de elementos finitos para el cálculo de sus esfuerzos. Al concluir la investigación los autores exponen haber corroborado que la inclusión de esos dispositivos en edificaciones disminuye el periodo fundamental de la estructura, pasando de 0.56 seg. a 0.53 seg.; además, consiguieron controlar los desplazamientos laterales llegando a una disminución del 34% de las derivas y un 30% en la zona más crítica. Es importante destacar que los autores afirman que al usar estos dispositivos reducen notablemente los daños que puede provocar los sismos en una estructura, dándole continuidad operacional después de un evento sísmico.

Alva y Castro (2017), efectuaron una investigación titulada “Análisis y diseño estructural en edificaciones implementando disipadores de energía viscoso Taylor”, en donde fijaron como objetivo incorporar disipadores en modelo de la estructura inicial con la intención de mejorar su comportamiento sísmico. Los autores tomaron como objeto de estudio un edificio destinada para uso de oficinas de 9 niveles ubicada en la ciudad de Trujillo; luego de evidenciar que las derivas obtenidas como resultado de un análisis sísmico no cumplían con los máximos normativos estipulados en la norma peruana, tomaron como opción añadir disipadores de energía Taylor dispuestos de manera Chevron, verificando su comportamiento mediante el programa Etabs. Al concluir con la investigación, resultó que, al reforzar la estructura con estos tipos de dispositivos, hubo una absorción de energía sísmica de entrada de 41.31%, además se comprobó que este sistema ayuda a disminuir el requerimiento de acero en los elementos estructurales adyacentes llegando a necesitar hasta un 64.80% del sistema convencional.

Fuentes (2015), en su tesis titulada “Análisis Sísmico de una Edificación con Disipadores de Fluido Viscoso”, estableció como objetivo realizar una investigación sobre los alcances del análisis dinámico de una edificación con disipadores de fluido viscoso, el cual lo estudiará en un edificio ideal aporticada de 5 pisos de concreto armado. El autor

desarrolló dicha investigación modelando la edificación con los disipadores de fluido viscoso en el programa Etabs, comparando las tres configuraciones de arreglos de los dispositivos y examinando las respuestas de la estructura empleando disipadores lineales con exponente $\alpha = 1$ y disipadores no lineales con exponente $\alpha = 0.25$. Al culminar dicho trabajo, llegó a la conclusión que, al usar dichos dispositivos con la configuración Chevron, llegaron a reducir la fuerza cortante basal en un 22% y 31%, en X y Y respectivamente; además obtuvieron una reducción de los desplazamientos máximos en la azotea de hasta 35 %. Así mismo descubrió que los disipadores no lineales con $\alpha = 0.25$ tienen la ventaja de producir fuerzas menores que los disipadores lineales con $\alpha = 1$ aportando el mismo amortiguamiento efectivo al sistema estructural.

Guevara y Torres (2015), desarrollaron una investigación titulada “Diseño de un edificio aporticado con amortiguadores de fluido-viscoso en disposición diagonal”, en el cual tuvieron como objetivo exponer los beneficios y el desempeño satisfactorio que tienen los sistemas de amortiguadores de fluido viscoso (SAFV) en una edificación aporticada de 7 niveles el cual no cumplía con la deriva máxima permitida en la norma peruana. Los investigadores llegaron a la conclusión que al colocar los SAFV en lugares estratégicos, se logró reducir de 9% a 5.8%, lo cual es una mejora significativa ya que cumpliría con el máximo permisible estipulado en la Norma Sismorresistente peruana. Además, encontraron que este sistema disminuye los esfuerzos cortantes y momentos flectores a costa de un incremento en la carga axial en las columnas adyacentes.

Carranza y Calderón (2015), en su tesis titulada “Reforzamiento de una estructura aporticada con disipadores de fluido viscoso para un mercado en la ciudad de Trujillo” plantearon el objetivo de evaluar los beneficios que tendría una edificación incorporada estos dispositivos. Para ello, los autores tomaron como ejemplo aplicativo a una edificación aporticada de 4 niveles para uso mercado ubicada en la ciudad de Trujillo con un tipo de suelo S3. Tras realizar un análisis sísmico dinámico tiempo-historia a la estructura en mención, ellos llegaron a la conclusión que, al implementar una edificación con este sistema, se puede llegar a disipar un 88.78% de la energía de sismo, además de reducir las derivas de entrepiso hasta en un 70.21%.

Díaz La Rosa (2014), elaboró una investigación que lleva por título “Evaluación del Proyecto Estructural y Optimización del Diseño con Disipadores de Energía Viscosos Taylor para una Edificación Esencial de 6 pisos”, el cual tuvo como objetivo principal

evaluar el diseño estructural inicialmente planteado para una clínica, analizando los principales parámetros tales como derivas de entrepiso, excentricidad torsional, fuerzas y momentos flectores en los elementos de corte y optimizar el diseño reestructurando el modelo y a través de la incorporación de disipadores de energía viscosos Taylor. Los resultados obtenidos terminando el estudio fueron satisfactorios, llegando a la conclusión que, al implementar estos dispositivos dentro de la estructura, se produce una disminución de los desplazamientos máximos en el último nivel de un 41.81%, así como la reducción de las derivas de entrepiso desde un 38.57% hasta un 51.10%. También se generó una reducción significativa en las fuerzas cortantes de los muros de corte hasta un 48.58%, adicionalmente en las columnas esta reducción es de hasta 35.31%. Del mismo modo hubo una reducción de los momentos de hasta 47.93% para placas y 35.30% para columnas.

Antecedentes Internacionales:

Aguiar et al. (2016), desarrollaron una investigación titulada “Análisis sísmico de bloque estructural 4 de UFA-ESPE con disipadores de energía Shear Link Bozzo”, en el cual tuvieron como objetivo principal comprobar el buen desempeño de los dispositivos SLB en una edificación. Los autores llegaron a la conclusión que al usar los dispositivos SLB, se puede conseguir que las derivas de piso del edificio no sobrepasen el 0.25% tanto para el sismo DBE como para el sismo MCE.

Bozzo (2016), realizó una investigación titulada “Análisis y diseño de estructuras equipadas con disipadores de energía SL”, en donde propone brindar procedimientos simplificados que permitan abordar un problema de forma consistente y practica usando estos disipadores. El objeto de investigación usada por el autor fue la Iglesia de La Alegría en San Borja-Perú, además de una edificación de 5 niveles. El autor llegó a la conclusión que este sistema ayuda a reducir el requerimiento de acero de 10% a 15% por metro cuadrado. Dentro del artículo presentado se destaca la necesidad de colocar como mínimo, si se proyecta muros de hormigón, 8 dispositivos por nivel (2 por muro), y si se proyecta diagonales, 4 dispositivos por nivel. Además, recomienda colocar estos disipadores lo más alejado del centro de gravedad para contrarrestar la torsión.

Bozzo y Gaxiola (2015), en su artículo titulado “El concepto “Rígido-Flexible-Dúctil” y las conexiones SLB”, tuvieron el objetivo de demostrar, mediante 3 ejemplos aplicativos, que es posible diseñar estructuras con el nivel de fuerzas del sistema flexible, pero con el

nivel de desplazamientos del sistema rígido. Los autores tomaron como objeto de estudio al Edificio industrial Nettelco (Perú), Edificio Urbania (México) y a un edificio prefabricado. Al finalizar el desarrollo de la investigación demostraron que es posible diseñar estructuras más eficientes y seguras unificando los campos de control pasivo y diseño clásico, teniendo en cuenta el concepto Rígido-Flexible-Dúctil y las conexiones SLB.

1.3 Teorías relacionadas al tema

1.3.1 La normativa peruana y los sistemas de disipación de energía

En el Perú existe una norma que es la que promueve y exige el diseño sismorresistente de las edificaciones peruanas, la cual brinda las condiciones mínimas para que viviendas, oficinas, instituciones educativas, establecimientos de salud, entre otros, cumplan con los principios fundamentales que rigen este reglamento. El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2018) en su publicación “Reglamento Nacional de Edificaciones, NTP E.030 Diseño Sismo resistente”, dentro del artículo 1.3, expone los siguientes principios:

- a) “La estructura no debería colapsar ni causar daños graves a las personas, aunque podría presentar daños importantes, debido a movimientos sísmicos calificados como severos para el lugar del proyecto.
- b) La estructura debería soportar movimientos del suelo calificados como moderados para el lugar del proyecto, pudiendo experimentar daños reparables dentro de límites aceptables.
- c) Para las edificaciones esenciales, (...) se tendrán consideraciones especiales orientadas a lograr que permanezcan en condiciones operativas luego de un sismo severo”

Cuando la norma menciona edificaciones esenciales, se refiere a los establecimientos de salud del segundo o tercer nivel según lo estipulado por el Ministerio de Salud, lo cual es correcto pensar que frente a un sismo severo o raro de gran magnitud es indispensable que estos centros estén en condiciones óptimas para brindar apoyo médico urgente a las personas perjudicados por el fenómeno. Además de ello, casi siempre, el equipamiento y/o archivos que se encuentren dentro de este tipo de estructuras son mucho más importantes y costosos que la misma edificación.

Cuando la edificación se trata de un sistema aporticado y de muchos niveles es muy difícil lograr una buena rigidez para que, al ser sometidos a carga laterales, puedan cumplir con los desplazamientos relativos o derivas estipuladas por la norma sismo resistente peruana (7‰). Es por ello que, en estos casos, es necesario brindarle a la estructura mayor rigidez mediante, por ejemplo, la colocación de muros estructurales (placas), o sistemas de reforzamientos como los arriostramientos metálicos, pero siempre cuidando ciertos factores adicionales como la irregularidad torsional. Sin embargo, este no es el único método, actualmente existen procedimientos más complejos y con mejores beneficios los cuales tienen como función principal disipar la energía sísmica de entrada, disminuyendo las derivas de entrepiso y así cumplir con lo determinado en el reglamento. Este método consta en la integración de sistemas de disipación de energía, los cuales, en los últimos años, se han convertido en una de las mejores opciones para contrarrestar solicitaciones sísmicas.

La norma sismorresistente peruana, dentro del artículo 3.9, permite el uso de sistemas de aislamiento sísmico o de disipación de energía en una edificación, siempre y cuando cumplan con la mínima fuerza cortante en la base y la distorsión de entrepiso máxima permisible. Asimismo, para el diseño recomienda utilizar la norma ASCE/SEI 7-10 y recomienda que la instalación de este tipo de sistemas esté a cargo de un profesional ingeniero civil competente y especializado en el tema (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2016).

Sin embargo, en el Perú, no existe una norma técnica dirigida para la protección sísmica; como hemos mencionado, la normativa peruana nos recomienda usar como referencia normas extranjeras que, si bien son buenos documentos, el contexto no es necesariamente el mismo, ya que las características y necesidades son distintas.

1.3.2 Sistemas de protección sísmica y balance energético

El diseño sismo resistente convencional, acepta que el desempeño de una estructura esté basado en que, durante un evento sísmico, el sistema resistente de fuerzas laterales sea capaz de absorber y disipar la energía por medio de las rótulas plásticas dúctiles formadas en las vigas y en columnas. Estas características de diseño son aceptables debido a la factibilidad económica, sin embargo, se tiene que prevenir el colapso de este

tipo de infraestructuras ya que la seguridad de los ocupantes es primordial ante todo (Villarreal y Oviedo, 2009, p. 10).

Sin embargo, en ciertas ocasiones, este sistema convencional no es tolerable debido a la necesidad de pertenecer funcional después de un fenómeno sísmico. Esto sucede con edificaciones importantes por ejemplo destinadas a centros de salud, centros policiales, penitenciarias, centro de bomberos, entre otros.

Por este motivo se han creado sistemas de protección sísmicos modernos (SPS), los cuales han ido y seguirán evolucionando para lograr contrarrestar la demanda sísmica, generando así nuevos procedimientos de diseño alternativo.

Para entender el funcionamiento de los SPS, es necesario interiorizar la fundamentación del balance energético de las estructuras expuesta a una excitación sísmico. Todo parte desde la Segunda ley del movimiento de Newton.

En la figura 1 se muestran las fuerzas que actúan sobre la masa de un pórtico simple dependiendo del tiempo. La fuerza lateral está representada por “ $p(t)$ ”, la fuerza restauradora elástica o inelástica (según sea el caso) está representada por “ f_s ”, y la fuerza de amortiguamiento inherente de la estructura se representa por “ f_D ”. Como se observa, la fuerza externa lateral se considera positivo en el eje de las abscisas, al igual que el desplazamiento $u(t)$, la velocidad $\dot{u}(t)$ y la aceleración $\ddot{u}(t)$, mientras que las fuerzas elásticas y de amortiguamiento se encuentran actuando en la dirección opuesta dado que dichas fuerzas se oponen a la deformación y a la velocidad respectivamente.

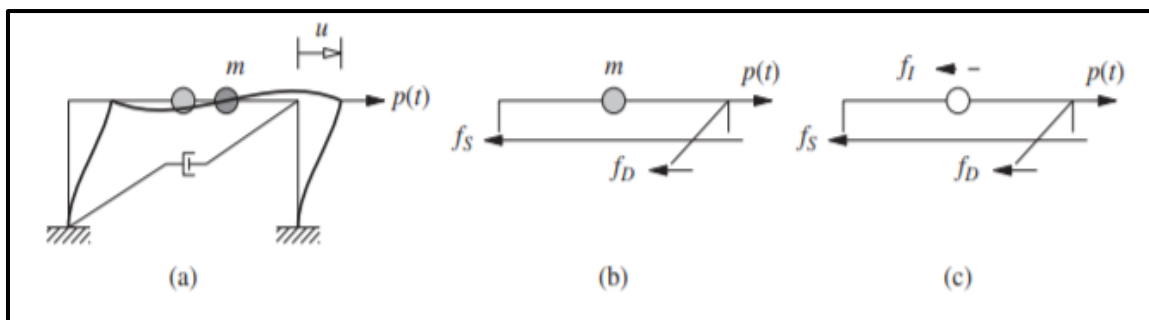


Figura 1. Sistema de un grado de libertad y sus fuerzas actuantes en la masa
Fuente: Dinámica de estructuras - Anil Chopra.

Entonces la sumatoria de todas las fuerzas horizontales resulta:

$$\sum F_x = p(t) - f_s - f_D \quad (1)$$

Teniendo en cuenta la Segunda ley de Newton:

$$F = m \times a \quad (2)$$

Reemplazando la ecuación (1) en (2), obtenemos:

$$\begin{aligned} p(t) - f_s - f_D &= m \times a \quad \text{ó} \\ p(t) &= f_s + f_D + m\ddot{u} \end{aligned} \quad (3)$$

Si sabemos que:

$$f_s = ku \quad (4)$$

$$f_D = c\dot{u} \quad (5)$$

Entonces sustituyendo la ecuación (4) y (5) en (3), tenemos como resultado la Ecuación de Equilibrio Dinámico:

$$p(t) = ku(t) + c\dot{u}(t) + m\ddot{u}(t) \quad (6)$$

Esta es la Ecuación de movimiento que controla la deformación o desplazamiento de la estructura idealizada en la figura 01.

Ahora, para nuestra conveniencia, necesitamos convertir la ecuación anterior para que represente la respuesta de un sistema con un grado de libertad sometido a una aceleración del suelo, por lo tanto:

$$ku(t) + c\dot{u}(t) + m\ddot{u}(t) = -m\ddot{u}_g(t) \quad (7)$$

dónde:

- $\ddot{u}_g(t)$: Aceleración del suelo
- m : Masa del sistema
- c : Amortiguamiento del sistema
- k : Rigidez del sistema
- $\ddot{u}(t)$: Aceleración del sistema
- $\dot{u}(t)$: Velocidad del sistema
- $u(t)$: Desplazamiento relativo del sistema

Finalmente, para introducir el concepto de energía, se debe integrar la ecuación (7) con respecto al tiempo, obteniendo como resultado la ecuación (8):

$$\int ku(t)\dot{u}(t) dt + \int c\dot{u}(t)dt + \int m\ddot{u}(t)\dot{u}(t) dt = - \int m\ddot{u}_g(t)\dot{u}(t) dt \quad (8)$$

Por lo tanto, la ecuación (8) puede ser expresada como se muestra en la ecuación (9), la cual resume todas las energías actuantes en el sistema frente a un evento sísmico, lo que se conoce como balance energético.

$$E_I = E_A + E_{H\xi} + E_K \quad (9)$$

dónde:

- E_I : Energía absoluta de entrada del movimiento sísmico
- E_K : Energía cinética (depende de la masa y la velocidad)
- E_A : Energía absorbida. Es la suma de la energía de deformación elástica – recuperable (E_s) y la energía histerética disipada por el comportamiento inelástico – irrecuperable (E_h) mediante la plastificación, fricción o ambos.
- $E_{H\xi}$: Energía de amortiguamiento.

Con ello podemos deducir que para que una edificación soporte las solicitaciones sísmicas de entrada, debería aumentar la ductilidad del sistema, aumentando así la energía de deformación inelástica (E_h); o en su defecto, incrementando la energía de amortiguamiento interno del sistema estructural ($E_{H\xi}$).

El amortiguamiento es inherente a las estructuras, ya sea de concreto armado o esencialmente de acero, y es necesario determinarla para someterlo a un análisis sísmico. Comúnmente, el amortiguamiento definido por la norma sismorresistente peruana es de 5%, sin embargo, algunos autores destacan que, para edificios altos, el máximo amortiguamiento que se debe considerar es del 2%.

Para lograr una mejora en el comportamiento de la estructura se puede hacer uso de dispositivos mecánicos de disipación los cuales se colocan en el pórtico de la estructura y disipa energía a lo largo de toda la altura del edificio. Como ejemplo se tienen sistemas elastómeros de gran amortiguamiento, disipadores de fluencia de metales, disipadores de fluido viscoso, disipadores por fricción y viscoelásticos, los cuales detallaremos más adelante. Esos tipos de sistemas, aparte de controlar los desplazamientos laterales,

tienen otra ventaja, atribuir mayor resistencia y rigidez, excepto por los disipadores de fluido viscoso.

En la figura 2 se muestra de manera esquemática la distribución energética (tiempo-energía) de una estructura convencional, donde se puede apreciar que la mayor parte de energía de entrada de sismo es controlada por el amortiguamiento interno de la estructura y mediante las deformaciones inelásticas–histeréticas de la misma.

Contrastando, en la figura 3 se muestra el balance energético de la misma edificación incorporado un tipo de disipador donde se observa en gran detalle que los dispositivos colocados ayudan en gran porcentaje al control de la demanda de energía de entrada disminuyendo la deformación inelástica–histerética.

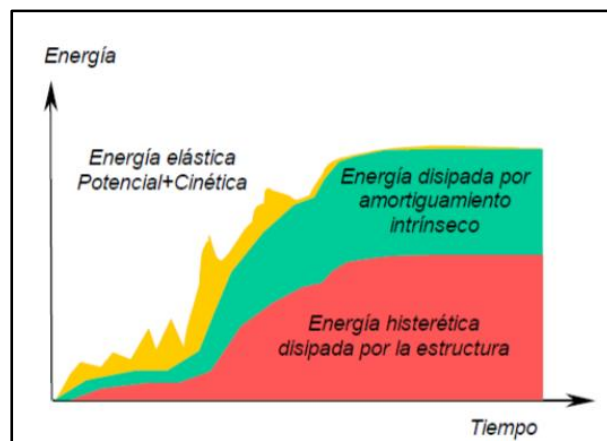


Figura 2. Distribución de energía de estructura convencional
Fuente: Análisis comparativo de un edificio de hormigón armado con y sin disipadores de energía - Duran, M. et al.

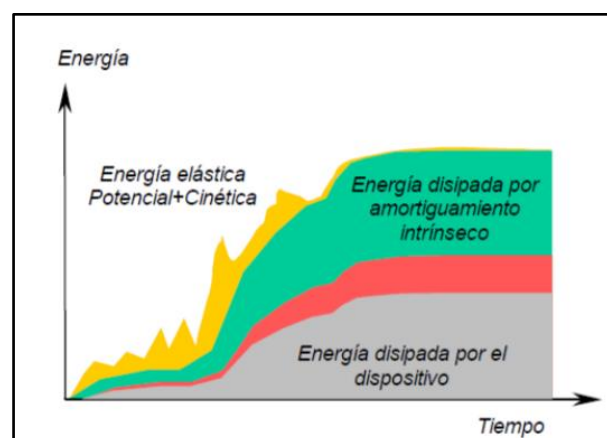


Figura 3. Distribución de energía de estructura con disipadores de energía.
Fuente: Análisis comparativo de un edificio de hormigón armado con y sin disipadores de energía (Duran, M. et al)

1.3.3 Clasificación de los sistemas de Protección sísmica

Según Pittí (2013), los sistemas de protección sísmica se clasifican de acuerdo al siguiente cuadro:

Cuadro 1. *Clasificación de los Sistemas de Protección Sísmica (SPS)*

CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	SISTEMAS
SISTEMAS PASIVOS	Conocidos también como Sistemas de Control Pasivo de Vibraciones Sísmicas (Seismic Vibration Passive Control, SVPC)	AISLADORES SÍSMICOS (SEISMIC ISOLATION, SI)
		DISIPADORES DE ENERGÍA (ENERGY DISSIPATION, ED)
		AMORTIGUADORES DE MASA SINCRONIZADA (TUNED MASS DAMPER, TMD)
SISTEMAS ACTIVOS	Modifican la respuesta dinámica de la estructura	OSCILADORES DE MASA ACTIVA (ACTIVE MASS DAMPER, AMD)
		ARRIOSTRAMIENTOS ACTIVOS (ABS)
		TENDONES ACTIVOS
SISTEMAS HÍBRIDOS	Combinación de sistemas de control pasivo y activo	OSCILADORES HÍBRIDOS (HYBRID MASS DAMPER, HMD)
		AISLADORES ACTIVOS
SISTEMAS SEMI-ACTIVOS	Poseen propiedades variadas que pueden ser manejadas para reducir la respuesta del sistema estructural	DISIPADORES DE ORIFICIO VARIABLE
		DISIPADORES DE FRICCIÓN VARIABLE

		DISIPADORES DE FLUIDO CONTROLABLES
--	--	---------------------------------------

Los sistemas pasivos se caracterizan fundamentalmente por no necesitar de fuentes de energía para funcionar, es decir dependen únicamente de las condiciones de trabajos en las que se encuentren. Este sistema se basa en elementos reactivos por lo que su desempeño no es controlable a diferencia de otros sistemas, además cabe resaltar que es más económico. Al ser los sistemas de protección sísmica más estudiados a lo largo del tiempo, han ido evolucionando logrando mejoras en su desempeño y beneficios por ellos es que son los más usados en todo el mundo. La figura 4 muestra el diagrama de flujo supuesto que presenta un sistema de control pasivo donde se puede observar claramente que los mecanismos se activan luego de la respuesta estructural.

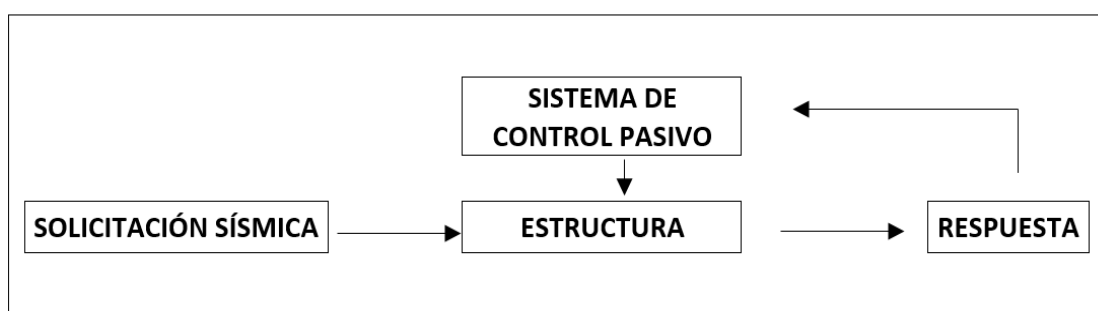


Figura 4. Diagrama de flujo del Sistema de Disipación Pasiva de Energía

Fuente: New applications and development of active, semi-active and hybrid control techniques for seismic and non-seismic vibration in the USA - Department of Civil Engineering and Geological Sciences.

Dentro de este tipo de sistemas se encuentran los Aisladores Sísmicos de base, Disipadores de Energía y los Amortiguadores de Masa Sintonizada.

Los Aisladores Sísmicos, o SI (en sus siglas en inglés), son aquellos mecanismos que se basan esencialmente en separar la estructura de los movimientos del suelo. Entender este concepto es muy fácil, ya que la idea es que la solicitud sísmica se reduzca antes de llegar a la superestructura, esto quiere decir que estos dispositivos mecánicos modifican la energía de entrada del sismo para disminuir la respuesta estructural. Los dispositivos de este sistema deben ser horizontalmente flexibles y verticalmente rígidos para soportar el peso de la edificación.

Los Disipadores de Energía, o ED (en sus siglas en inglés), no modifican la entrada del sismo sin embargo absorben la energía de entrada evitando que los elementos estructurales lo disipen mediante deformaciones inelásticas, que es lo que se desea evitar. Esto quiere decir que un buen porcentaje de la energía del sismo se concentra en estos dispositivos generando que reaccionen y se activen. Los ED pueden reducir fuerzas cortantes, aceleraciones en el terreno, desplazamientos y hasta periodos de vibración.

Los Amortiguadores de Masa Sintonizada, o TMD (en sus siglas en inglés), reducen la amplitud de la vibración absorbiendo la energía cinética del edificio. Su sistema presenta un oscilador que está dado por la edificación, un mecanismo de muelle y un mecanismo de amortiguamiento, lo cual, al igualar la frecuencia de oscilación del mecanismo con la frecuencia de la estructura y ajustar el amortiguamiento, se logra reducir la respuesta estructural frente a fuerzas laterales.

Los Sistemas Activos son mecanismos con un alto grado de complejidad, los cuales presentan sensores de movimiento (por ejemplo, acelerómetros), sistemas de control y actuadores dinámicos. La figura 5 muestra el diagrama de flujo supuesto que presenta un sistema de control activa donde se puede observar que, al presentarse la sollicitación sísmica, los sensores reconocen los movimientos en tiempo real y mediante un algoritmo de control ordenan fuerzas necesarias hacia los sistemas activos para contrarrestar los efectos sísmicos. Su principal desventaja, además de su costo, es que se necesita de una fuente de alimentación externa continua para su normal funcionamiento. En la figura 6 se muestra de manera esquemática el proceso de este sistema en una edificación.

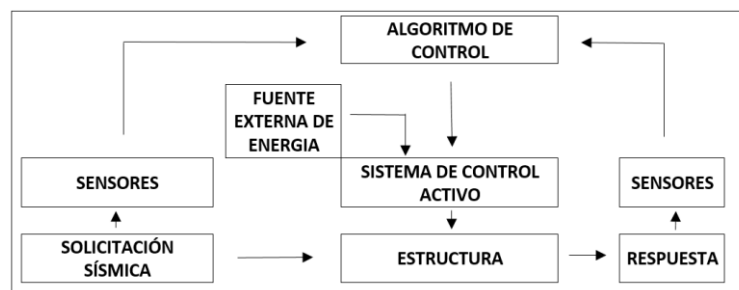


Figura 5. Diagrama de flujo del Sistema de Disipación Activo de Energía

Fuente: New applications and development of active, semi-active and hybrid control techniques for seismic and non-seismic vibration in the USA - Department of Civil Engineering and Geological Sciences.

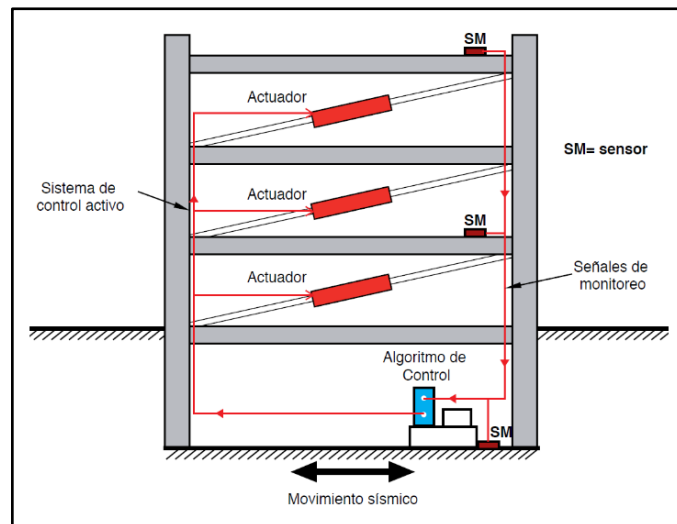


Figura 6. Diagrama esquemático del Sistema de Disipación Activo en una edificación.

Fuente: Protección Sísmica de estructuras - Corporación de desarrollo tecnológico.

Los sistemas híbridos es una combinación de un sistema pasivo con un activo. La capacidad de este dispositivo para reducir las respuestas estructurales se basa principalmente en el movimiento natural del sistema pasivo, por su parte los actuadores de control se usan para aumentar la eficiencia del sistema híbrido y desarrollar mayor fuerza de oposición a la energía sísmica de entrada. La figura 7 muestra el diagrama de flujo supuesto que presenta un sistema de disipación híbrido.

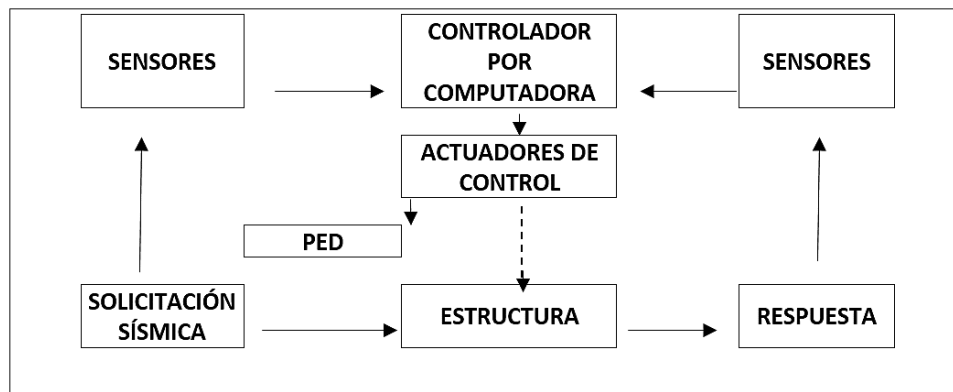


Figura 7. Diagrama de flujo del Sistema de Disipación Híbrido de Energía

Fuente: New applications and development of active, semi-active and hybrid control techniques for seismic and non-seismic vibration in the USA - Department of Civil Engineering and Geological Sciences.

Los Sistemas semi-activos son sistemas muy parecidos a los activos, ya que cuentan con un mecanismo que detecta la respuesta estructural en tiempo real. La diferencia es que este sistema no aplica fuerzas de control directamente a la estructura, por el

contrario, modifican las propiedades mecánicas de los dispositivos. La figura 8 muestra el diagrama de flujo supuesto de un sistema semi-activo donde se puede observar que los sensores, al detectar la excitación sísmica, mandan información a un computador y este a su vez hacia los actuadores de control lo que ocasiona que modifiquen las propiedades de los dispositivos. En la figura 9 se presenta de manera esquemática el proceso de este sistema en una edificación.

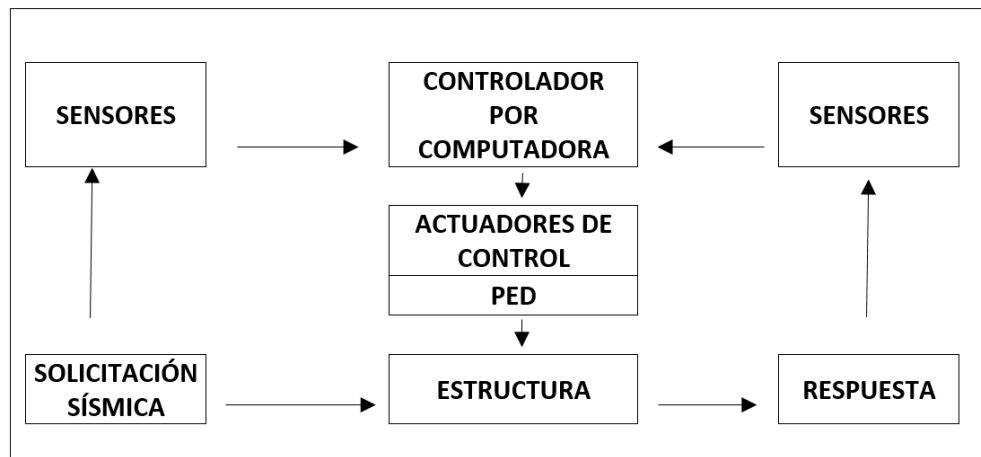


Figura 8. Diagrama de flujo del Sistema de Disipación Semi-activo de Energía.

Fuente: New applications and development of active, semi-active and hybrid control techniques for seismic and non-seismic vibration in the USA - Department of Civil Engineering and Geological Sciences.

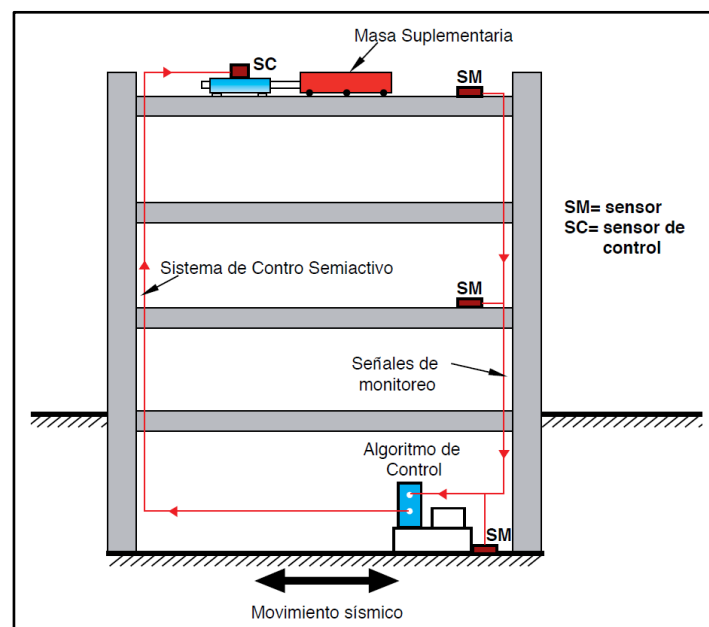


Figura 9. Diagrama esquemático del Sistema de Disipación Semi-activo en una edificación

Fuente: Protección Sísmica de estructuras - Corporación de desarrollo tecnológico.

1.3.4 Disipadores de energía

Según la norma estadounidense ASCE 7-10 en su capítulo 18 señala que existen tres tipos de sistemas de amortiguamiento o disipación de estructuras:

- a) Sistemas de Amortiguación dependientes del desplazamiento
- b) Sistemas de amortiguación dependientes de la velocidad
- c) Sistemas de amortiguación dependientes del desplazamiento y la velocidad

Las fuerzas de respuesta que tiene los dispositivos de un sistema que depende del desplazamiento al someterlo a excitación sísmica, esta principalmente en función del desplazamiento relativo entre cada extremo del dispositivo. Esto quiere decir que dicha respuesta es sustancialmente independiente de la velocidad relativa entre cada uno de los dispositivos. Por su parte, la relación fuerza – desplazamiento para un dispositivo de un sistema que depende de la velocidad es principalmente una función dependiente de la velocidad relativa entre cada extremo del dispositivo.

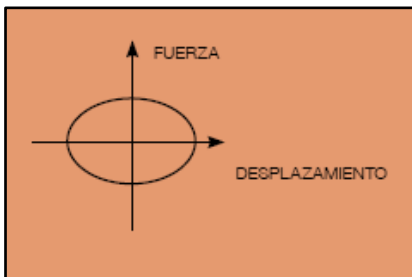


Figura 10. Lazo histerético de un dispositivo dependiente de la velocidad.



Figura 11. Lazo histerético de un dispositivo dependiente del desplazamiento. A) metálico, B) friccional.

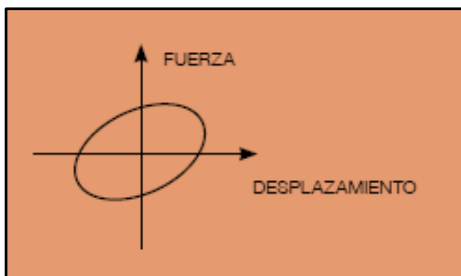


Figura 12. Lazo histerético de un dispositivo dependiente del desplazamiento y la velocidad.

La figura13 muestra la clasificación de estos sistemas de disipación de energía considerando los factores del ASCE7-10.

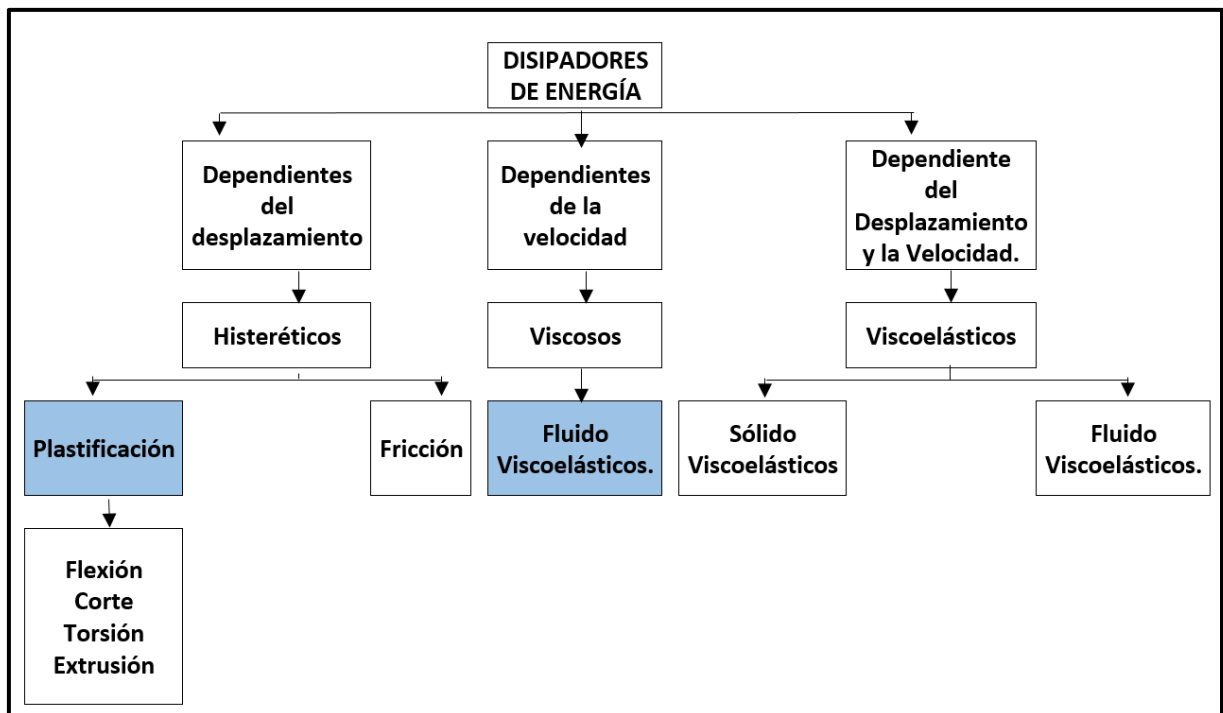


Figura 13. Clasificación de los disipadores de energía.

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo hacer una comparación entre los disipadores Shear Link Bozzo y los disipadores Taylor, los cuales pertenecen al grupo de plastificantes y de fluido viscoso respectivamente; es por ello que a continuación se profundizará en estos dos dispositivos.

1.3.5 Disipadores Shear Link Bozzo (SLB)

Estos dispositivos se basan en el aumento localizado de ductilidad en el edificio permitiendo una reducción significativa en las fuerzas inducidas por un sismo de alta intensidad, esto quiere decir que estos dispositivos van a absorber energía de sismo debido a la plastificación de su material y a las propiedades mecánicas que posee, disminuyendo así las derivas de entrepiso y aumentando también el periodo fundamental de la estructura debido a que también aporta rigidez. Así mismo, también se pueden definir como articulaciones plásticas que el ingeniero estructural puede colocar en puntos estratégicos para mejorar la respuesta sísmica.

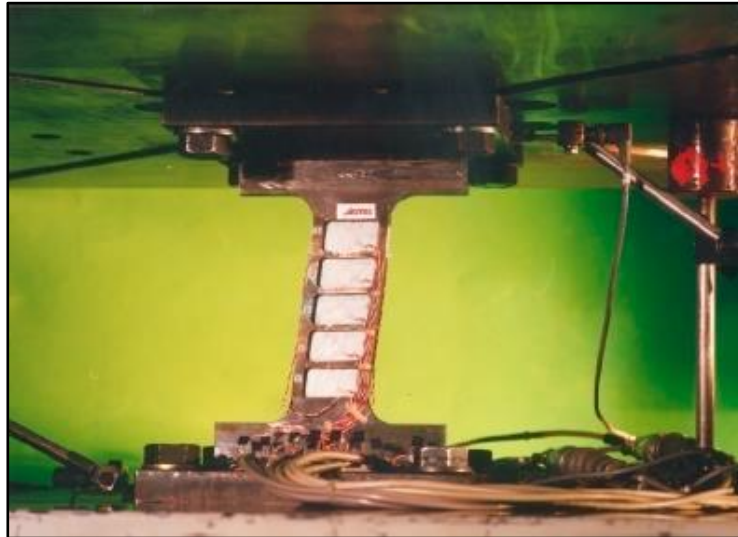


Figura 14. Dispositivo SLB trabajando por corte

Fuente: Disipadores SLB para diseños sismorresistente – Luis Bozzo Estructuras y Proyectos SL.

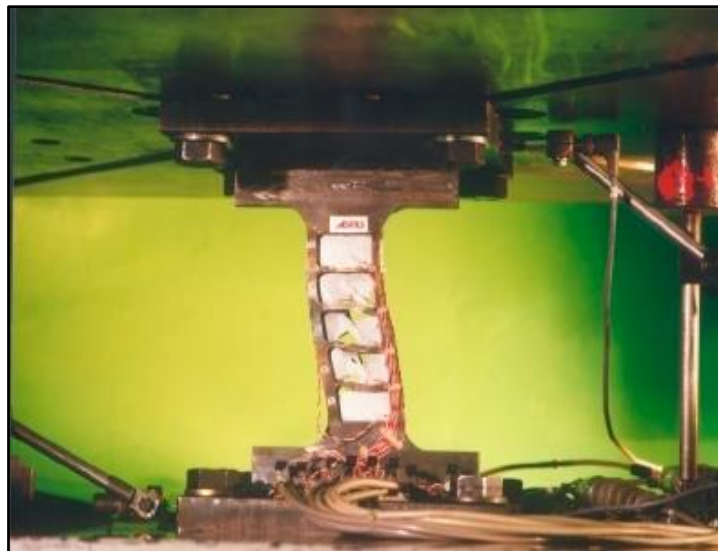


Figura 15. Dispositivo SLB trabajando a flexión (superando corte)

Fuente: Disipadores SLB para diseños sismorresistente – Luis Bozzo Estructuras y Proyectos SL.

Los disipadores SLB tiene origen en el año 1995 cuando se empezó a realizar a análisis netamente numéricos. Posteriormente se realizó el primer ensayo experimental en el laboratorio de ISMES (Italia) teniendo como investigador principal a uno de los creadores, Luis Bozzo Rotondo. Para ese entonces lo que se buscaba era emplear estos dispositivos para proteger los muros de mampostería los cuales, al formar parte de un sistema flexible, se podían desplomar al someterse a cargas sísmicas. En el ensayo se descubrió la gran ayuda que aportaron estos dispositivos en el control del



Fuente: El concepto “rígido-flexible-dúctil” y las conexiones SLB – Luis Bozzo y Gustavo Gaxiola.



Fuente: El concepto “rígido-flexible-dúctil” y las conexiones SLB – Luis Bozzo y Gustavo Gaxiola.

La figura 19 nos muestra el lazo histerético que presenta comúnmente este disipador. Dicha imagen fue tomada de un ensayo experimental realizado en el año 2002 en el laboratorio de ISMES donde se analizó un SL30_2, denominación de ese entonces. En la curva histerética se puede observar que al principio trabaja correctamente como un elemento que depende del desplazamiento, sin embargo, poco a poco se va alargando y esto se debe al fallo o rompimiento de la ventana del SLB, sin embargo, los rigidizadores o marcos de acero siguen trabajando, es decir, tiene doble modo de fallo, como un factor de seguridad extra lo cual, lógicamente, no se considera para el diseño.

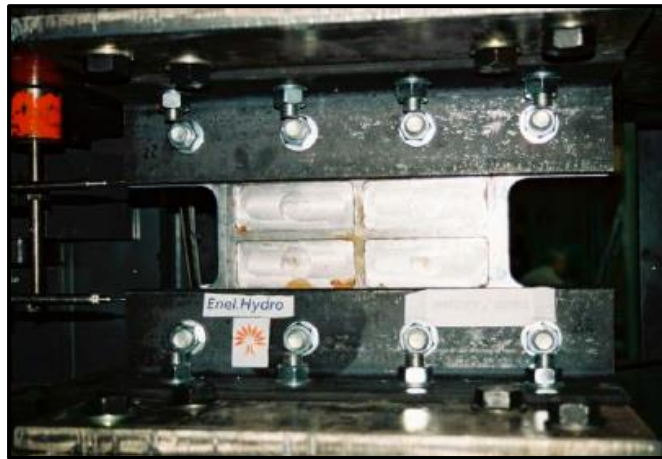


Figura 18. Geometría del disipador SL30_2 – año 2002

Fuente: Análisis sísmico del bloque estructural 4 de UFA-ESPE con disipadores de energía Shear Link Bozzo – Roberto Aguiar, et. al.

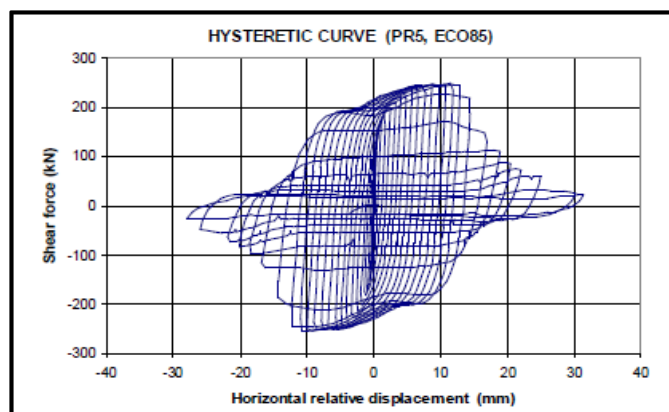


Figura 19. Lazo histerético del disipador SL30_2 sometido a cargas cíclicas – año 2002.

Fuente: Análisis sísmico del bloque estructural 4 de UFA-ESPE con disipadores de energía Shear Link Bozzo – Roberto Aguiar, et. al.

Luego de muchos ensayos más, “en el año 2008 se generalizaron 32 dispositivos variando sus dimensiones en planta y en altura realizando una optimización cualitativa de su geometría aportando tablas de diseño básicas”, las cuales se muestran en el Anexo 1. (Bozzo y Proyectos SL, 2016, pág. 5).

En el Anexo 2 se muestra la tabla de parámetros de diseño para los disipadores SLB los cuales fueron actualizados en el año 2018.

En el año 2016 se realizó ensayos en la Universidad Federico II en Nápoles, donde se obtuvo la curva histerética mostrada en la figura 20 del disipador SL40_3, y su curva monotónica donde se puede apreciar que este mecanismo se activa al desplazarse aproximadamente 1.5 mm.

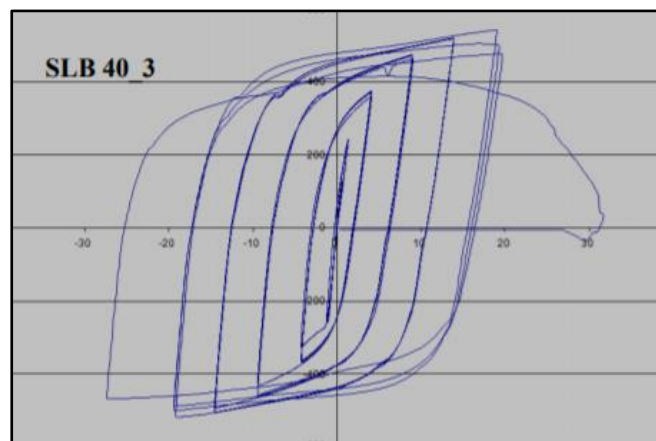


Figura 20. Lazo histerético del disipador SL40_3 sometido a cargas cíclicas – año 2016.

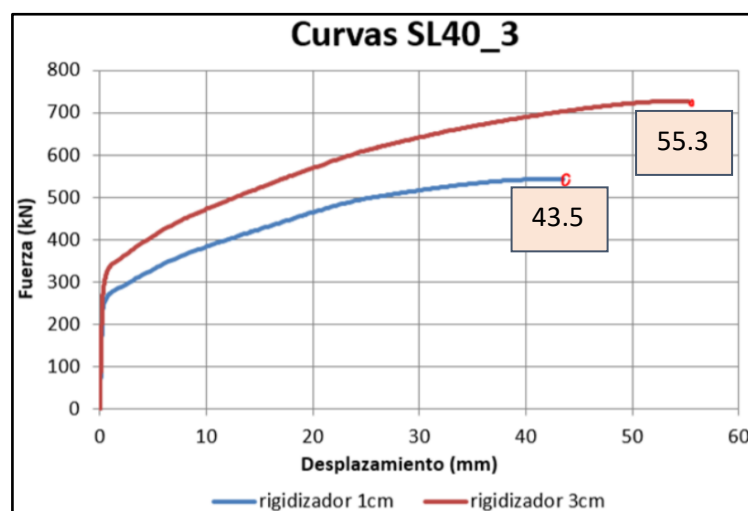


Figura 21. Curva monotónica del disipador SL40_3 – año 2016.

En el año 2017 se realizó un experimento en el laboratorio de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), donde se propuso como objetivo analizar el disipador SLB añadiendo un componente tipo peine en la parte superior del elemento con el fin de no absorber las cargas verticales (figura 22). Este mecanismo se ensambló en muros desacoplados.

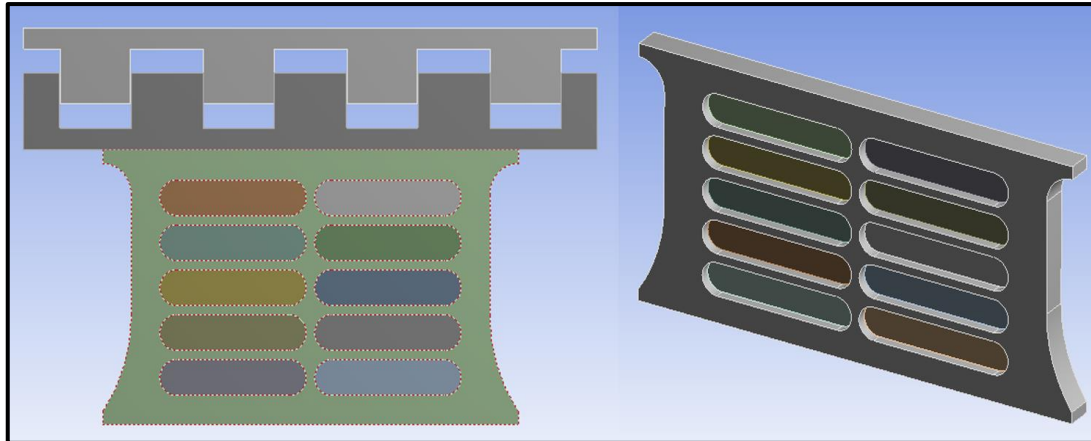


Figura 22. Geometría del disipador SLB tipo peine.

“Actualmente se fabrican en Perú por la empresa POSTENSA SAC disipadores SLB de tercera generación compactos y de mayor capacidad de disipación y flexibilidad a rotura los cuales incluyen capas de neopreno para su mejor protección” (Bozzo y Proyectos SL, 2016, pág. 5).

Dicha empresa fabrica estos dispositivos en diferentes medidas los cuales están denominadas según sus dimensiones.

$$SLB(ed) X_Y$$

dónde:

- X: ancho del disipador en cm.
- Y: espesor de la ventana (ev) en mm.
- ed: depende del espesor del disipador en mm.
 - ed=2 , para placas de 19mm
 - ed=3 , para placas de 25mm
 - ed=4 , para placas de 38mm

Por ejemplo: el disipador SLB2 40_5 significa que tiene un grosor de 2cm aproximadamente, un ancho de la zona central de 40 cm. y un espesor de ventana de 5 mm.

Como mencionamos anteriormente, los dispositivos por fluencia de metales aportan rigidez añadiendo una ventaja más a este sistema.

Para determinar la rigidez que aporta un dispositivo SLB se considera el marco como una columna empotrada con rigidez (K_r) y las ventanas trabajan a flexión con rigidez (K_w). Si suponemos un disipador SLB de 4 ventanas, se obtendría las rigideces mostradas en la figura 23.

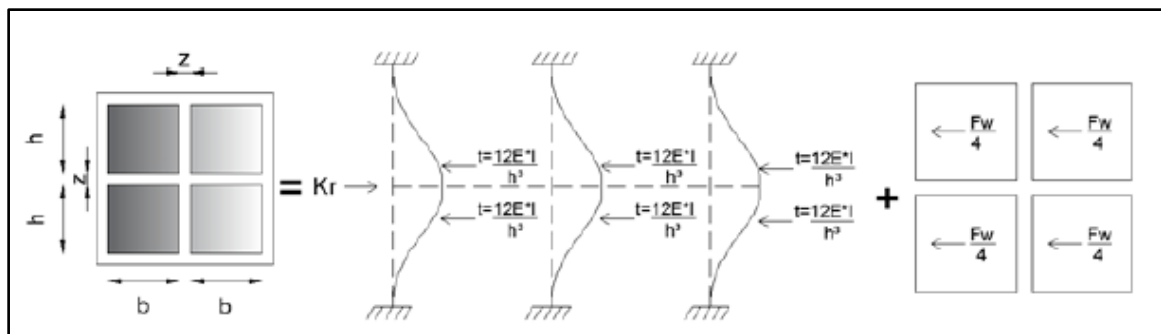


Figura 23. Rigidez que aporta el marco y la ventana de un disipador SLB con 4 ventanas.

Fuente: Análisis sísmico del bloque estructural 4 de UFA-ESPE con disipadores de energía Shear Link Bozzo – Roberto Aguiar, et. al.

Al analizar este tipo de sistemas se tiene que tener un modelo matemático el cual tiene que ser simple. A continuación, se presenta un modelo del conjunto diagonal-disipador donde se puede deducir que la rigidez de la ventana y la rigidez del marco del disipador trabajan de manera paralela, mientras la rigidez de la diagonal y la rigidez del disipador trabajan en serie (Aguiar et al, 2016, p. 131)

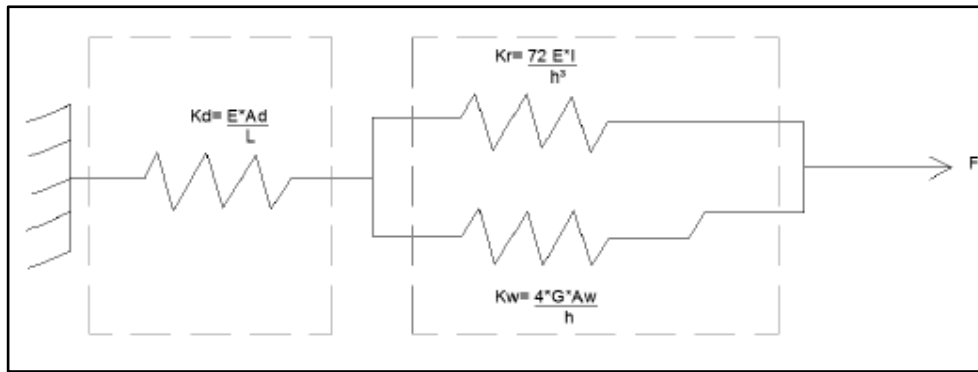


Figura 24. Modelo matemático de un sistema diagonal-disipador SLB.

Fuente: Análisis sísmico del bloque estructural 4 de UFA-ESPE con disipadores de energía Shear Link Bozzo – Roberto Aguiar, et. al.

dónde:

- K_d : rigidez del brazo metálico o diagonal
- K_r : rigidez de los marcos del disipador SLB
- K_w : rigidez de las ventanas del disipador SLB

El disipador Shear Link Bozzo se puede colocar de 4 maneras los cuales se presentan en la figura 25.

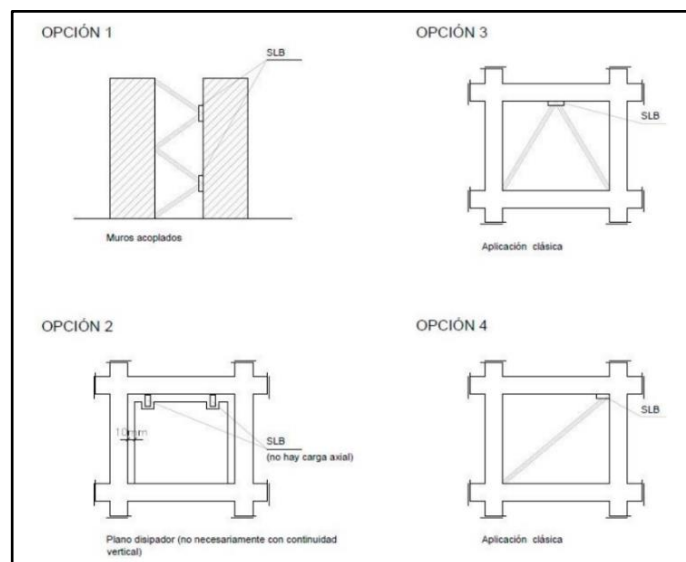


Figura 25. Disposiciones para el disipador SLB.

Fuente: El concepto “rígido-flexible-dúctil” y las conexiones SLB – Luis Bozzo y Gustavo Gaxiola.

- OPCIÓN 1: muros acoplados
- OPCIÓN 2: muros desacoplados
- OPCIÓN 3: tipo Chevron
- OPCIÓN 4: diagonales

En la actualidad existen muchas construcciones donde se han empleado estos dispositivos, siendo el primero el casino Mubarak construido en Lima-Perú 2003. Posteriormente se construyeron edificios como, por ejemplo:

- Fabrica Lindley, con 256 unidades
- Departamento Odontología USMP – Ate, con 28 unidades
- Edificio oficinas Monterrosa – Surco, con 18 unidades
- Torre Paradox – México, con 118 unidades
- Edificio Urbana – Guadalajara, con 132 unidades
- Rehabilitación Ceibo Dorado – Ecuador, con 40 unidades; entre otros.



Figura 27. Casino Mubarak – colocación de disipadores SLB.

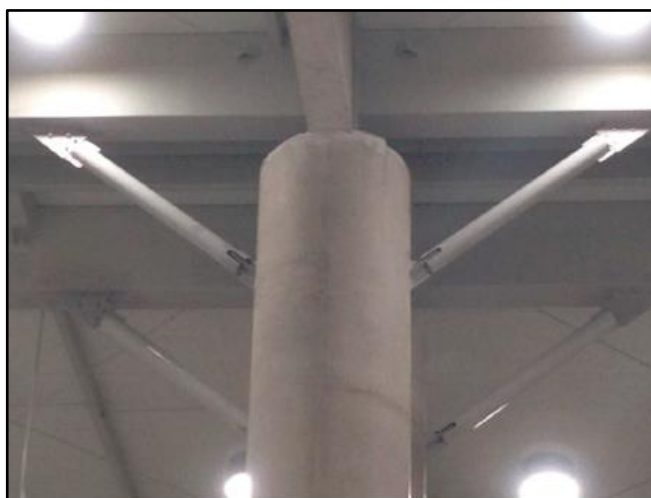


Figura 26. Fabrica Lindley – colocación de disipadores SLB.

En la figura 27 se puede observar que la disposición de los disipadores Shear Link Bozzo en el casino Mubarak de Lima, fue mediante muros desacoplados; mientras que en el caso de la figura 26, nos muestra que en la fábrica Lindley se colocó estos dispositivos mediante diagonales excéntricas.

1.3.6 Disipadores Taylor

Los disipadores Taylor pertenecen al grupo de los sistemas de fluido viscoso ya que son dependientes exclusivamente de la velocidad en los dispositivos. La principal característica de este dispositivo es que aumenta el amortiguamiento de la estructura, lo que reducirá el desplazamiento de entrepiso y esfuerzos en los elementos estructurales. La idea de implementar estos dispositivos en una estructura es de añadirle la capacidad de disipación de energía para garantizar su respuesta elástica durante el sismo de diseño.

Los disipadores de fluido viscoso Taylor logran aumentar el amortiguamiento entre 20% a 40%; el porcentaje debe mantenerse entre esos valores debido a que menos del 20% no justifica el uso de estos dispositivos y más del 40% no es económicamente viable.

Estos sistemas se pueden incorporar tanto para edificaciones nuevas como para edificaciones existentes; un ejemplo de ello es que se implementó en la torre del aeropuerto internacional Jorge Chávez de Perú. En la figura 30 se puede deducir la gran absorción de energía de sismo que se logró al colocarle los disipadores de fluido viscoso Taylor, tanto en X como en Y.

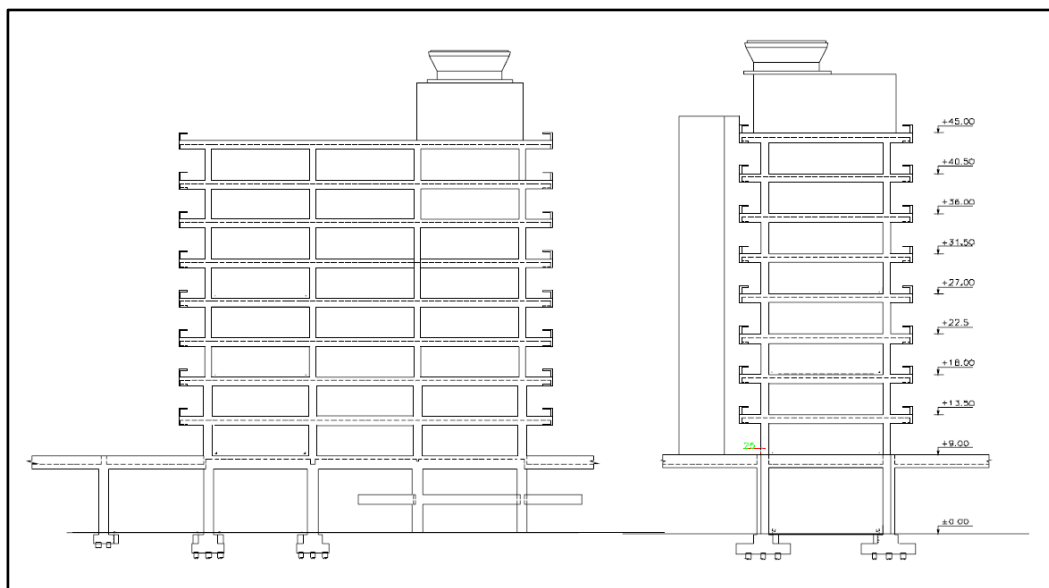


Figura 28. Elevación frontal y Lateral de la Torre del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez – Perú.

Fuente: Retro capacitación de la torre del aeropuerto internacional Jorge Chávez (Casabonne, R.C; et al)

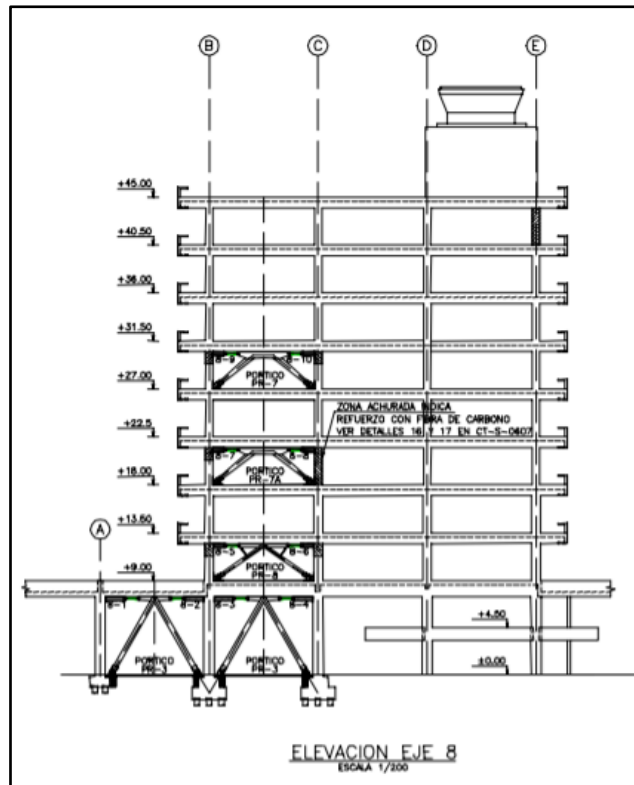


Figura 29. Disposición final de los disipadores en la torre del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez – Perú.
Fuente: Retro capacitación de la torre del aeropuerto internacional Jorge Chávez (Casabonne, R.C; et al)

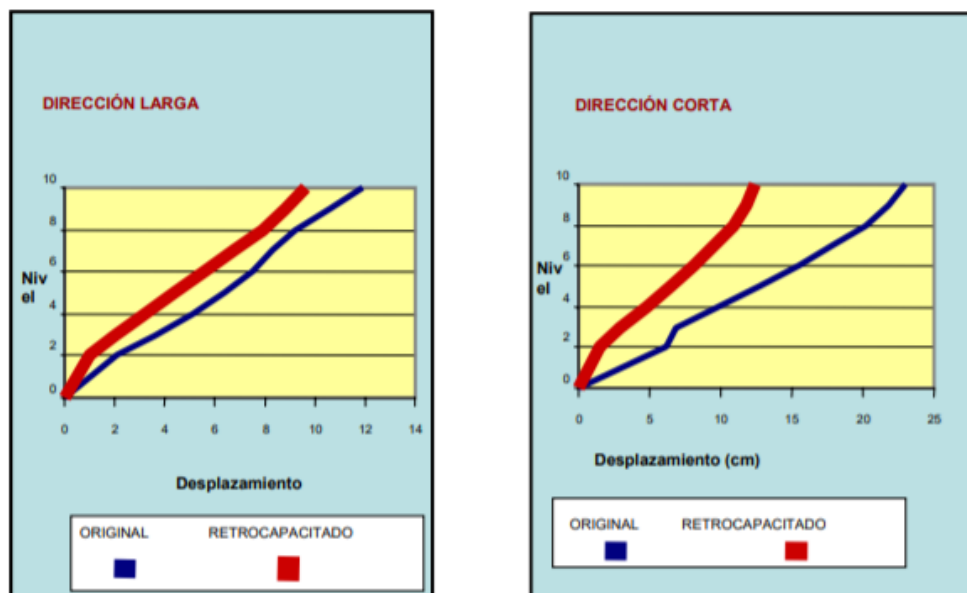


Figura 30. Desplazamientos obtenidos al incorporar los disipadores Taylor en la torre del Aeropuerto Jorge Chávez – Perú.
Fuente: Retro capacitación de la torre del aeropuerto internacional Jorge Chávez (Casabonne, R.C; et al)

La ecuación general de estos disipadores fundamentados por amortiguamiento está dada por:

$$F = C \times V^\alpha \quad (10)$$

dónde:

- F : fuerza axial del disipador
- C : coeficiente de amortiguamiento
- V : velocidad relativa en el dispositivo
- α : exponente de velocidad

El exponente α puede ser tomado como igual a la unidad (disipadores lineales) o menor o mayor a 1 (disipadores no lineales). Este factor define el comportamiento histerético del dispositivo de fluido viscoso frente a fuerzas cíclicas, por lo que los resultados de sus lazos de histéresis son relativamente diferentes, como nos muestra la figura 32. Los dispositivos con α mayor a 1 necesitan de grandes velocidades para incrementar significativa la fuerza en el disipador, mientras que los que toman un α menor a 1 son efectivos para minimizar los pulsos de alta velocidad; esto se entiende observando la figura 31.

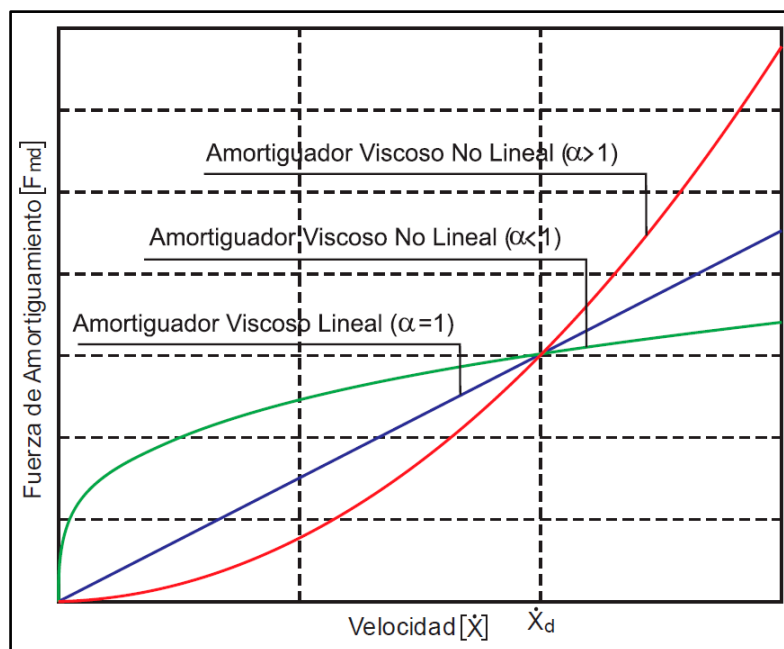


Figura 31. Relación velocidad vs fuerza en el disipador para $\alpha=1$, $\alpha>1$ y $\alpha<1$.

Fuente: Edificaciones con disipadores viscosos. (Villarreal Castro y Díaz La Rosa)

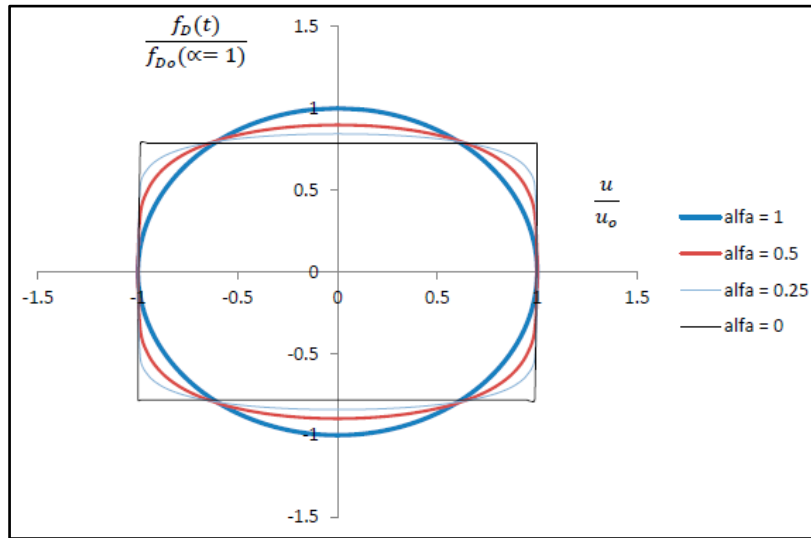


Figura 32. Lazo histerético de un disipador de fluido viscoso con movimiento armónico para diferentes valores de α .
Fuente: Edificaciones con disipadores viscosos. (Villarreal Castro y Díaz La Rosa)

La figura 32 nos muestra la relación entre las fuerzas normalizadas y los desplazamientos normalizados que se obtuvo de un disipador de fluido viscoso sometido a movimiento armónico para diferentes valores de α . Donde $f_D(t)$ es la fuerza del disipador en función del tiempo y $f_{Do} (\alpha=1)$ es la fuerza máxima del disipador con $\alpha = 1$. Se puede deducir que, para absorber la misma cantidad de energía, los disipadores no lineales desarrollan fuerzas máximas de menor magnitud que la fuerza máxima unitaria correspondiente a un disipador lineal, es por ello que se varios autores recomiendan usar un valor de α entre 0.4 y 0.6 para el diseño sísmico de edificaciones. Para la presente investigación se tomará el valor de 0.5 para el exponente de velocidad α .

El FEMA 274 nos proporciona una ecuación la cual se usará para determinar el coeficiente de amortiguamiento C .

$$\beta_H = \frac{\sum_j \lambda C_j \Phi_{rj}^{1+\alpha} \cos^{1+\alpha} \theta_j}{2\pi A^{1-\alpha} \omega^{2-\alpha} \sum_i m_i \Phi_i^2} \quad (11)$$

De la ecuación 11 se despeja el coeficiente de amortiguamiento y se obtiene la ecuación 12.

$$\sum C_j = \frac{\beta_H \cdot 2\pi A^{1-\alpha} \omega^{2-\alpha} (\sum_i m_i \Phi_i^2)}{\lambda (\sum \Phi_{rj}^{1+\alpha} \cos^{1+\alpha} \theta_j)} \quad (12)$$

dónde:

- β_H : amortiguamiento viscoso de la estructura.
- λ : parámetro lambda.
- C_j : coeficiente de amortiguamiento del disipador j.
- Φ_{rj} : desplazamiento relativo entre ambos extremos del disipador j en la dirección horizontal (con nuestro sismo de diseño).
- θ_j : ángulo de inclinación del disipador j.
- A : amplitud de desplazamiento del modo fundamental (desplazamiento modal de la losa del ultimo nivel).
- ω : frecuencia angular.
- m_i : masa del nivel i.
- Φ_i : desplazamiento del nivel i (con nuestro sismo de diseño).

Para obtener el **parámetro lambda** (λ), el FEMA 274 nos facilita el cuadro 2, la cual brinda el parámetro lambda para diferentes valores de α .

Cuadro 2. Parámetro λ para valores de α .

EXPONENTE α	PARÁMETRO λ
0.25	3.70
0.50	3.50
0.75	3.30
1.00	3.10
1.25	3.00

Fuente: FEMA 274

El **amortiguamiento viscoso** (β_H) se obtiene de la siguiente expresión donde al amortiguamiento efectivo se le descuenta el amortiguamiento inherente de estructuras de concreto armado (5%).

$$\beta_H = \beta_{eff} - 5\% \quad (13)$$

Para hallar el **amortiguamiento efectivo** (β_{eff}) se emplea las expresiones del factor de reducción de respuesta (B) la cual se calcula para ambos sentidos de análisis.

$$B = \frac{2.31 - 0.41 \ln \beta_0}{2.31 - 0.41 \ln \beta_{eff}} \quad (14)$$

$$B = \frac{D_{m\acute{a}x}}{D_{objetivo}} \quad (15)$$

dónde:

- B : factor de reducción de respuesta (en X y Y)
- β_0 : amortiguamiento inherente de la estructura.
- β_{eff} : amortiguamiento efectivo.
- $D_{m\acute{a}x}$: distorsión máxima (X y Y - obtenidos del análisis tiempo historia con el sismo de diseño).
- $D_{objetivo}$: distorsión objetivo según la norma de Diseño Sismorresistente peruana E030.

Para poder asumir valores de **distorsión objetivo**, el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2016) en su publicación “Reglamento Nacional de Edificaciones, NTP E.030 Diseño Sismo resistente”, dentro del capítulo 5, expone los límites para la distorsión del entrepiso para diferentes materiales como lo muestra el cuadro 3. Sin embargo, en el artículo 4.7.3 del mismo reglamento recalca que al realizar un análisis dinámico tiempo historia, lo cual es este el caso, las distorsiones máximas de entrepiso no deberán exceder de 1.25 veces los valores del cuadro 3.

Cuadro 3. Límites para la distorsión de entrepiso.

MATERIAL PREDOMINANTE	(Δ_i/h_{ei})
Concreto Armado	0.007
Acero	0.010
Albañilería	0.005
Madera	0.010
Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada	0.005

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones E030-2018

Así mismo existe otra alternativa para determinar la distorsión objetivo brindada por el FEMA (Federal Emergency Management Agency) en su documento HAZUS (Multi-hazard Loss Estimation Methodology) en donde estudia la relación entre el daño y las derivas de entrepiso para cada tipo de estructuras. El anexo 3 detalla la distorsión angular de entrepiso en el límite de daño estructural en edificios de concreto armado, el cual usaremos para obtener la distorsión objetivo.

Adicionalmente, es necesario identificar el nivel de desempeño y el estado de daño que tendrá la edificación, por ello usaremos las tablas del diseño por desempeño brindadas por el comité VISION 2000 del SEAOC (Structural Engineers Association of California).

El cuadro 4 muestra el nivel de movimiento sísmico de acuerdo al periodo de retorno y a la probabilidad de excedencia. El diseño que exige el reglamento peruano, es para un movimiento sísmico raro ya que en la norma E030 “Diseño Sismorresistente”, hace saber que los factores de zona mencionados en el capítulo 2 de la misma, se interpretan como la aceleración máxima con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años.

Cuadro 4. *Niveles de movimiento sísmico según SEAOC.*

Nivel de movimiento sísmico	Periodo medio de retorno T(años)	Probabilidad de excedencia
Frecuente	43 años	50% en 30 años
Ocasional	72 años	50% en 50 años
Raro	475 años	10% en 50 años
Muy raro	970 años	10% en 100 años

Fuente: Comité VISION 2000, 1995

El cuadro 5 organiza el nivel de desempeño sísmico que debería tener una edificación teniendo en cuenta el nivel de movimiento sísmico. Dicha tabla está adaptada para la normativa peruana siendo:

- Color azul : Edificaciones Temporales (Categoría D)
- Color amarillo : Edificaciones Comunes (Categoría C)
- Color anaranjado : Edificaciones Importantes (Categoría B)
- Color verde : Edificaciones Esenciales (Categoría A)

Cuadro 5. Niveles recomendados de desempeño esperado según comité VISION 2000-SEAOC.

Edificaciones comunes		Nivel de Desempeño Sísmico.			
Edificaciones importantes					
Edificaciones Esenciales		Totalmente Operacional	Operacional	Seguridad	Pre-Colapso
Edificaciones Temporales					
Nivel del Movimiento Sísmico	Frecuente(T=43 años)				
	Ocasional(T=72 años)				
	Raro(T=475 años)				
	Muy raro(T=970 años)	-			

Fuente: Adaptado de VISION 2000, 1995

De la misma manera el comité VISION 2000 establece el cuadro 6, la cual muestra el estado de daño que tendría una edificación de acuerdo a su nivel de desempeño sísmico.

Cuadro 6. Estado de daño y niveles de desempeño según comité VISION 2000-SEAOC.

Estado de Daño	Nivel de Desempeño	Características principales
Despreciable	Totalmente Operacional	Daño estructural y no estructural despreciable o nulo. Las instalaciones continúan prestando sus servicios y funciones después del sismo.
Ligero	Operacional	Daños ligeros. Las instalaciones esenciales continúan en servicio y las no esenciales pueden sufrir interrupciones de inmediata recuperación.
Moderado	Seguridad	Daños moderados. La estructura sufre daños, pero permanece estable. Seguridad de ocupantes. Algunos elementos no estructurales pueden dañarse.

Severo	Pre-colapso	Daño estructural severo, en la proximidad del colapso estructural. Falla de elementos no estructurales. Seguridad de ocupantes comprometida.
Completo	Colapso	Colapso estructural

Fuente: Adaptado de comité VISION 2000, 1995

El FEMA clasifica a las estructuras de concreto armado en 3 grupos, a los cuales les asigna un código dependiendo del número de pisos (Cuadro 7).

Cuadro 7. Códigos de tipos de estructuras según FEMA

Descripción	Nombre	N° de Pisos	Designación
Pórticos de concreto armado(C1)	Bajos	1-3	C1L
	Medianos	4-7	C1M
	Altos	>8	C1H
Muros de corte de concreto(C2)	Bajos	1-3	C2L
	Medianos	4-7	C2M
	Altos	>8	C2H
Pórticos de concreto armado relleno con muros de Albañilería(C3)	Bajos	1-3	C3L
	Medianos	4-7	C3M
	Altos	>8	C3L

Fuente: HAZUS-MH 2.1

Para la determinación de la **frecuencia angular (ω)**, es necesario emplear conceptos básicos de la dinámica estructural, por ello a continuación se describe la ecuación que determina el periodo fundamental de la estructura (seg.) en función de la frecuencia angular (rad/seg.).

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (16)$$

De la ecuación 14 se despeja la frecuencia angular quedando la expresión 15, donde el periodo fundamental (T) se obtiene del análisis modal de la estructura.

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (17)$$

El **ángulo de inclinación** (θ_j) de los disipadores depende de la disposición de este, sin embargo, se tendrá como referencia la figura 33, de la cual se puede deducir además el **desplazamiento relativo del disipador de energía** (Φ_{rj}).

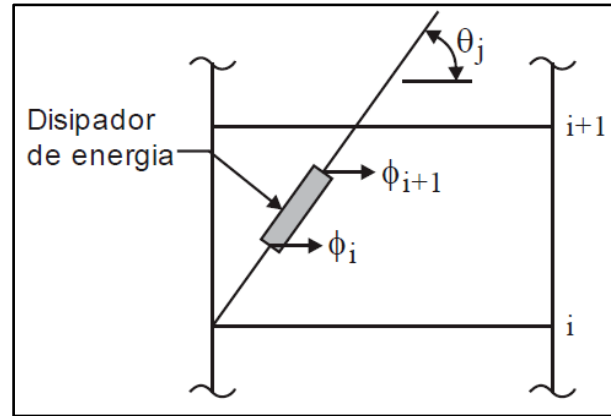


Figura 33. Ángulo de inclinación θ_j y desplazamiento relativo del disipador Taylor Φ_{rj} .
Fuente: Edificaciones con disipadores viscosos. (Villarreal Castro y Díaz La Rosa)

El sistema en conjunto de los disipadores Taylor, mostrado en la figura 34, en disposición diagonal contiene un brazo metálico el cual aporta rigidez axial, y es necesario su cálculo mediante la siguiente formula:

$$K_b = \frac{EA}{L} \quad (18)$$

dónde:

- K_b : rigidez axial del brazo metálico.
- E : módulo de elasticidad del acero.
- A : área de la sección transversal del brazo metálico.
- L : longitud del brazo metálico sin considerar el disipador Taylor.

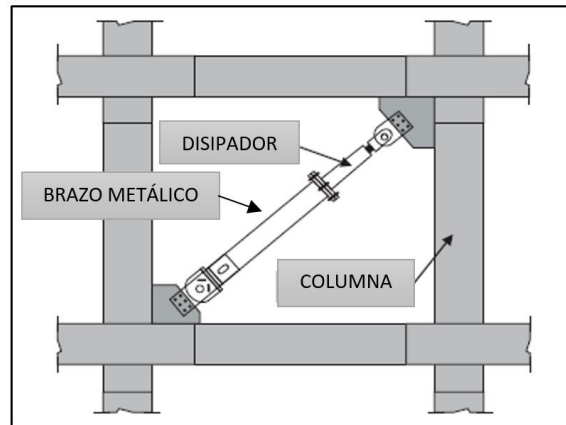


Figura 34. Sistema de disipador de fluido viscoso Taylor ubicado de manera diagonal en un pórtico.

Fuente: Edificaciones con disipadores viscosos. (Villarreal Castro y Díaz La Rosa)

El modelo matemático usado por programas estructurales para el análisis dentro de edificaciones se muestra en la figura 35, el cual es un modelo básico de maxwell en donde se considera un resorte en serie con un amortiguador puramente viscoso.

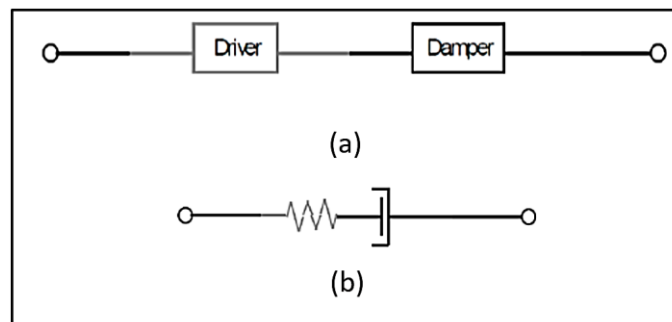


Figura 35. (a) Diagrama de bloque. (b) Modelo matemático del Sistema de disipador de fluido viscoso Taylor.

Las disposiciones de colocación de estos dispositivos son:

- Disposición Chevron: mejor control de derivas
- Disposición Diagonal: menor solicitud de refuerzo adicional y menor cantidad de dispositivos.

De estas dos disposiciones principales se pueden desprender otras como las mostradas en la figura 36.

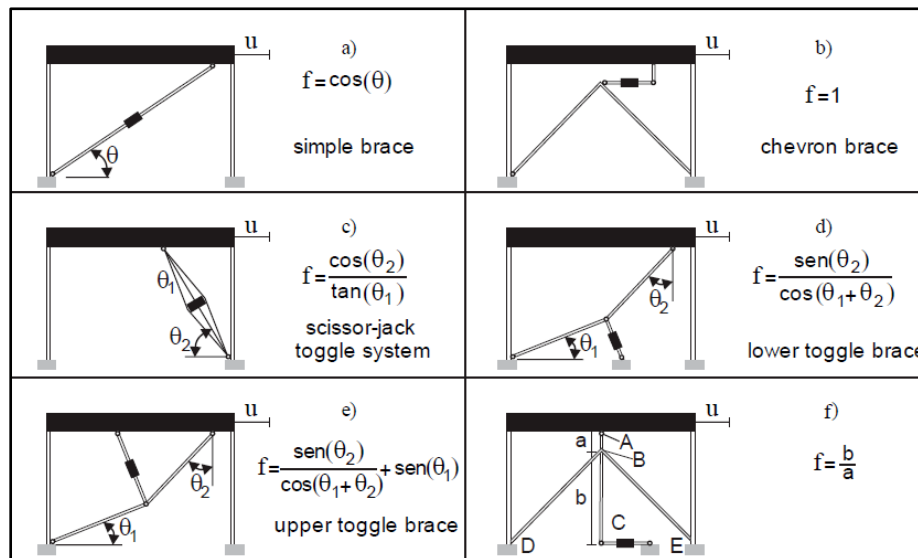


Figura 36. Disposiciones de los disipadores de fluido viscoso Taylor.

Fuente: "Passive control of linear structures equipped with nonlinear viscous dampers and amplification mechanisms" (M. di Paola, G. Navarra)

1.4 Formulación de Problema.

¿Cuál es el disipador con el mejor análisis comparativo de desempeño sísmico y costos entre los disipadores Shear Link Bozzo y Taylor aplicados en una edificación multifamiliar, Trujillo?

1.5 Justificación del Estudio.

Este proyecto tiene sustento por 4 razones:

1.5.1 Técnico.

El estudio de los disipadores para sistemas estructurales es muy primordial, puesto que Trujillo es una zona 4 por ello es fundamental calcular un análisis sísmico, el cual requiere poder diseñar un sistema teniendo en cuenta el tipo de suelo, análisis de cargas según el tipo de edificación y su uso, y las fuerzas que soportará al ser expuestas a cargas sísmicas, por esta razón, la realización de este proyecto facilitará averiguar y analizar diversa información relacionada a los disipadores que se encuentran en el mercado, siendo algunas nuevas tendencias y proyectar su uso en una vivienda multifamiliar típica en la ciudad de Trujillo, conforme a los criterios del RNE.

1.5.2 Teórico.

Se justifica de manera práctica porque esta información compilada servirá como pieza clave y referencial para futuros proyectos de construcción del mismo tipo, el cual tendrá impacto positivo en la población beneficiaria, así como también a las empresas públicas y privadas que ejecuten proyectos, que traducido en una edificación es el comportamiento y características óptimos que presente ante sismos.

1.5.3 Metodológico.

El proyecto se justifica metodológicamente porque la información recopilada aportará para el diseño estructural adicionando los disipadores SLB o Taylor, según sea la eficiencia, calidad y costo que este proyecto, una vez demostrada su validez y comprobada su confiabilidad, permitan la construcción de edificaciones más dúctiles y rígidos ante la presencia de un evento sísmico. Adicional a ello permitirá ser utilizada en futuras investigaciones que pertenezcan a la misma línea de alcance.

1.5.4 Práctico.

Se justifica de manera práctica porque a partir de esta investigación se podrá optar por la elección más económica de costos para cualquier tipo de edificación en la cual se haga uso de estos tipos de disipadores, sea una empresa pública o privada, además permitirá difundir la gran utilidad de estos dispositivos en los procesos constructivos y los beneficios en el desempeño frente a sismos.

1.6 Hipótesis.

El tipo de disipador con el comportamiento más favorable en cuanto a desempeño sísmico y costo es el Shear Link Bozzo (SLB), que adhiere a la estructura un comportamiento más dúctil y a la vez rígido, la cual la hace capaz de soportar cargas sísmicas severas a un menor costo que el disipador de Fluido Viscoso Taylor. Además, es rescatable el gran porcentaje de energía de entrada que puede contrarrestar estos disipadores frente a la presencia de fenómenos sísmicos y por ende disminución drástica de los desplazamientos, en comparación a los Taylor.

1.7 Objetivos.

Objetivo General:

- Analizar el comportamiento de los disipadores Shear Link Bozzo y Taylor en una edificación multifamiliar en la ciudad de Trujillo.

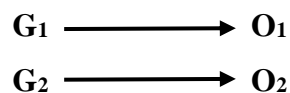
Objetivos Específicos:

- Proyectar una edificación multifamiliar a nivel arquitectónico.
- Evaluar el análisis sísmico de la edificación multifamiliar.
- Evaluar el comportamiento de la edificación integrando el disipador SLB bajo acción de cargas sísmicas.
- Evaluar el comportamiento de la edificación integrando el disipador Taylor bajo acción de cargas sísmicas.
- Comparar el desempeño sísmico entre los disipadores SLB y Taylor.
- Comparar los costos del suministro e instalación de ambos sistemas de disipación de energía implementados en la edificación multifamiliar.
- Efectuar el diseño estructural de la edificación multifamiliar proyectada.

II. MÉTODO

2.1 Diseño de investigación.

Tiene un diseño no experimental, transversal, descriptivo comparativo, cuyo esquema a utilizar es el subsiguiente:



G₁: Disipador SLB.

O₁: Desempeño sísmico y costos del sistema SLB,

G₂: Disipador Taylor.

O₂: Desempeño sísmico y costos del sistema Taylor.

2.2 Variables de Operalización:

- Desempeño sísmico
- costos

2.3 Población, muestra.

2.3.1 Población.

La población fue todas las edificaciones multifamiliares del área geográfica de la Urbanización San Andrés I Etapa, distrito de Trujillo, provincia de Trujillo, La Libertad.

2.3.2 Muestra.

La muestra fue la edificación propuesta ubicada en la Mz. Q lotes 1 y 2, la cual tuvo un uso de vivienda multifamiliar y constará 8 niveles.

2.4 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.

2.4.1 Técnicas.

Se utilizó la observación como técnica de recolección de datos.

2.4.2 Instrumentos.

Para trabajar se utilizará una ficha técnica de observación que fue validada por expertos en la especialidad (Anexo 4).

2.5 Método de análisis de datos.

Para el procesamiento de los datos se usaron programas de la especialidad tales como: AutoCAD, empleado para trazar los planos arquitectónicos de la edificación multifamiliar; ETABS, usado para el modelamiento, análisis y diseño de los elementos estructurales que componen la edificación y a su vez para realizar la simulación del sistema integrando los disipadores SLB y TAYLOR bajo cargas sísmicas; SEISMOMATCH, utilizado para el escalamiento de los registros sísmicos y finalmente el Microsoft Excel, el cual nos servirá para crear hojas de cálculo en las cuales estarán los resultados y comparaciones en cuadros y gráficos, los que serán descritos, interpretados y sustentados en el presente proyecto.

2.6 Aspectos éticos.

En el transcurso del desarrollo del presente proyecto de investigación, los investigadores están comprometidos a trabajar honesta y responsablemente, con la finalidad de contribuir con el estudio e información de nuevas prácticas o métodos que generen conocimiento. Además de poner en práctica los valores y sentido humanista y compromiso con el medio ambiente.

2.7 Variables de Operalización.

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Costo	Es un recurso que sacrifica o consume en aras de alcanzar un objetivo específico, también definida como dinero que se efectúa a fin de adquirir un producto o servicio (López, 2016).	Se identifica mediante el presupuesto estructural que se determinará de la edificación usando ambos disipadores de energía independientemente.	Precio Unitario (S/)	Cuantitativo de Razón
			Metrado (m, m ² , m ³ , und, glb, etc)	Cuantitativo de Razón
Desempeño Sísmico	<p>Desempeñar significa actuar, trabajar y dedicarse a una actividad (DRAE, 2014).</p> <p>Sismo es un fenómeno natural que involucra una sacudida de la superficie terrestre (DRAE, 2014).</p>	El desempeño se cuantificará en términos de la respuesta estructural de la edificación frente a sollicitaciones sísmicas.	Energía Disipada (Tn/m)	Cuantitativo de Razón
			Fuerza Cortante de entrepiso (Tn)	Cuantitativo de Razón
			Aceleración en los centros de masa (m/s ²)	Cuantitativo de Razón
			Periodo Fundamental de la estructura (seg.)	Cuantitativo de Razón
			Distorsión de entrepiso (%)	Cuantitativo de Razón
			Fuerza Axial máximo en los elementos de corte (Tn)	Cuantitativo de Razón
			Fuerza Cortante máximo en los elementos de corte (Tn)	Cuantitativo de Razón
			Momento Flector máximo en los elementos de corte (Tn.m)	Cuantitativo de Razón
			Fuerza Máxima en el disipador (Tn)	Cuantitativo de Razón
			Desplazamiento Máximo en el disipador (mm)	Cuantitativo de Razón

III. RESULTADOS

3.1 Diseño Arquitectónico.

3.1.1 Concepción general.

El diseño arquitectónico es una disciplina que tiene por objeto generar una propuesta de índole creativa y a la vez dirigida para conformar algo innovador y útil. Es un elemento imprescindible en el mundo de la construcción, busca adaptar los espacios públicos y privados a las necesidades y preferencias de la sociedad teniendo como base y piedra angular las normas y parámetros que ella misma exige.

Es indispensable cumplir en todo momento con los criterios básicos de diseños, además de aportar de forma dinámica con los resultados y en el desarrollo de recomendaciones y conclusiones de esta investigación.

3.1.2 Entorno Urbano.

Trujillo es la capital del departamento peruano de La Libertad siendo la tercera ciudad más poblada del Perú que alberga una población de 919 899 habitantes según los datos del Censo Nacional 2017.

El lugar seleccionado para esta investigación fue el sector de San Andrés I Etapa, esta zona cuenta con los servicios básicos tales como sistema de agua potable, desagüe, iluminación, educación, salud, entre otros.

La figura 37 muestra el plano de ubicación y localización del proyecto a desarrollarse, donde se describe sus coordenadas UTM de cada punto del lote y sus ángulos internos formando un polígono cerrado.

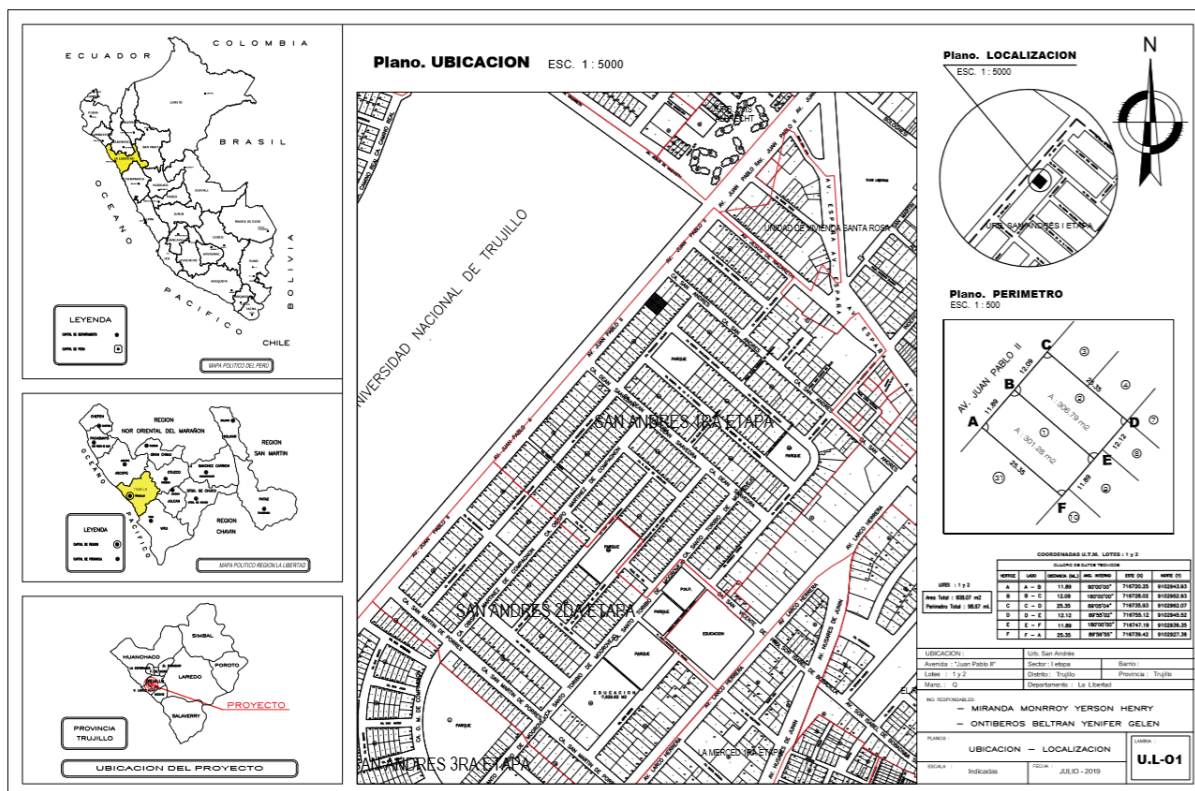
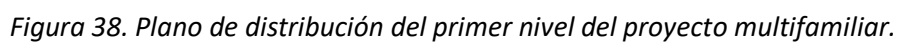


Figura 37. Plano de Ubicación y Localización del proyecto multifamiliar.

3.1.3 Descripción arquitectónica

Se proyectó una edificación ideal para uso de vivienda multifamiliar, ubicada la Mz Q, lotes 1 y 2 de la Urbanización San Andrés sector I Etapa en la ciudad de Trujillo, departamento La Libertad.

El primer nivel de esta edificación estará destinado para uso de estacionamiento el cual incluye un área utilizado para recepción; el segundo nivel al octavo nivel contará con 2 departamentos, cada uno con un área de 132.13 m² donde encontraremos espacios para sala-comedor, 1 cocina, ½ baño para visitas, 1 baño, 1 lavandería, 2 dormitorios simples y 1 dormitorio principal que incluye 1 baño independiente. Adicionalmente la edificación cuenta con un ascensor y escalera.



3.2 Estudio de Mecánica de Suelos

3.2.1 Generalidades

El estudio de Mecánica de suelos (EMS) aporta las características físico-mecánicas del suelo en el lugar de estudio, con la finalidad de poder determinar las características de la cimentación a diseñar para la edificación propuesta. Con fines educativos, nos basamos en un EMS realizado en el año 2017, por la empresa GEOMA para un proyecto cercano a la ubicación de nuestra edificación, el cual tomaremos como base para desarrollar el diseño.

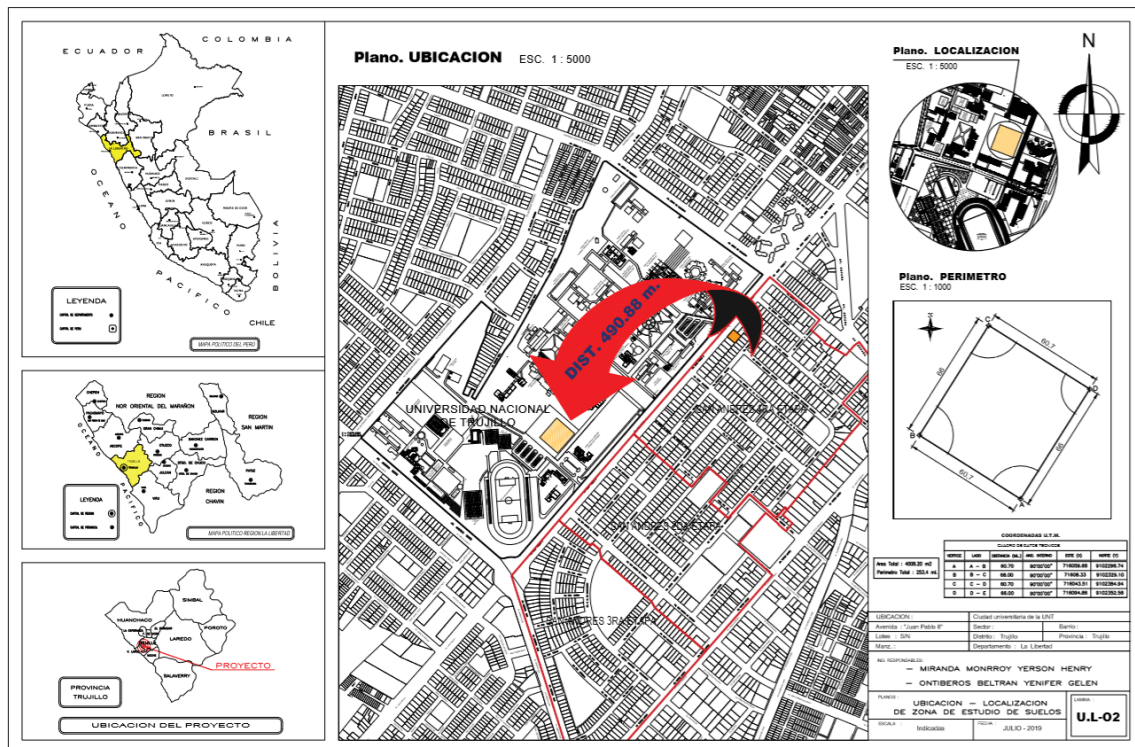


Figura 40. Plano de Ubicación y Localización del EMS tomado como base.

3.2.2 Resultados de Estudio de Mecánica de Suelos

El estudio realizado el cual tomaremos como referencia es del proyecto “MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN DEL SERVICIO DE ASISTENCIA ALIMENTARIA DE LA UNT, LA LIBERTAD, TRUJILLO, TRUJILLO” dentro del cual, se realizó 5 calicatas, obteniendo los siguientes resultados:

- **CALICATA N°1 - ESTRATO 3 / Profundidad: 3.00 m.**

- Profundidad de Cimentación (ZAPATA) =1.50m
- Factor de Seguridad= 3.00
- Profundidad de cimientto corrido=0.90
- Relación de Poisson $V= 0.15$
- Módulo de Elasticidad del suelo $E_s = 250.00 \text{ Kg/cm}^2$

Se puede considerar como valor único de diseño:

Cuadro 8. Resultados de la Calicata 1

CALICATA N°1-ESTRATO 3/ PROFUND. 3.00m		
Carga Admisible Bruta	q admisible =	1.19 Kg/cm ²
	q admisible =	11.93 Tn/m ²
	Q =	17.89 Tn/m
	S =	0.82 cm

Fuente: Adaptado de Estudio de Mecánica de Suelos base-Anexo 5

- **CALICATA N°2 - ESTRATO 3 / Profundidad: 3.00 m.**

- Profundidad de Cimentación (ZAPATA) =1.50m
- Factor de Seguridad= 3.00
- Profundidad de cimientto corrido=0.90
- Relación de Poisson $V= 0.15$
- Módulo de Elasticidad del suelo $E_s = 250.00 \text{ Kg/cm}^2$

Se puede considerar como valor único de diseño:

Cuadro 9. Resultados de la Calicata 2

CALICATA N°2-ESTRATO 3/ PROFUND. 3.00m		
Carga Admisible Bruta	q admisible =	1.17 Kg/cm ²
	q admisible =	11.72 Tn/m ²
	Q =	17.57 Tn/m
	S =	0.80 cm

Fuente: Adaptado de Estudio de Mecánica de Suelos base-Anexo 5

- **CALICATA N°3 - ESTRATO 3 / Profundidad: 3.00 m.**

- Profundidad de Cimentación (ZAPATA) =1.50m
- Factor de Seguridad= 3.00

- Profundidad de cimiento corrido=0.90
- Relación de Poisson $V= 0.15$
- Módulo de Elasticidad del suelo $E_s = 250.00 \text{ Kg/cm}^2$

Se puede considerar como valor único de diseño:

Cuadro 10. Resultados de la Calicata 3

CALICATA N°3-ESTRATO 3/ PROFUND. 3.00m		
Carga Admisible Bruta	q admisible =	1.17 Kg/cm ²
	q admisible =	11.72 Tn/m ²
	Q =	17.59 Tn/m
	S =	0.81 cm

Fuente: Adaptado de Estudio de Mecánica de Suelos base-Anexo

• **CALICATA N°4 - ESTRATO 3 / Profundidad: 3.00 m.**

- Profundidad de Cimentación (ZAPATA) =1.50m
- Factor de Seguridad= 3.00
- Profundidad de cimiento corrido=0.90
- Relación de Poisson $V= 0.15$
- Módulo de Elasticidad del suelo $E_s = 250.00 \text{ Kg/cm}^2$

Se puede considerar como valor único de diseño:

Cuadro 11. Resultados de la Calicata 4

CALICATA N°4-ESTRATO 3/ PROFUND. 3.00m		
Carga Admisible Bruta	q admisible =	1.17 Kg/cm ²
	q admisible =	11.69 Tn/m ²
	Q =	17.53 Tn/m
	S =	0.80 cm

Fuente: Adaptado de Estudio de Mecánica de Suelos base-Anexo 5

• **CALICATA N°5 - ESTRATO 3 / Profundidad: 3.00 m.**

- Profundidad de Cimentación(ZAPATA) =1.50m
- Factor de Seguridad= 3.00
- Profundidad de cimiento corrido=0.90
- Relación de Poisson $V= 0.15$
- Módulo de Elasticidad del suelo $E_s = 250.00 \text{ Kg/cm}^2$

Se puede considerar como valor único de diseño:

Cuadro 12. Resultados de la Calicata 5

CALICATA N°5-ESTRATO 3/ PROFUND. 3.00m		
Carga Admisible Bruta	q admisible =	1.16 Kg/cm ²
	q admisible =	11.57 Tn/m ²
	Q =	17.36 Tn/m
	S =	0.79 cm

Fuente: Adaptado de Estudio de Mecánica de Suelos base-Anexo 5

A partir de los resultados obtenidos y considerando la deficiente resistencia del terreno y del número alto de pisos de la edificación, se optó por diseñar una platea de cimentación.

3.3 Análisis Sismorresistente

3.3.1 Generalidades

La normativa peruana exige que toda edificación sea diseñada basándose en un previo análisis sísmico. El tipo de análisis depende de varios factores, entre ellos el uso de la edificación, la zona donde se ubica, los dispositivos integrados a la estructura, etc. La norma sismorresistente peruana considera el análisis estático, o de fuerzas estáticas equivalentes, y el análisis dinámico modal espectral como procedimientos básicos; sin embargo, hace mención al análisis tiempo-historia, el cual es un método complementario y se usa esencialmente para evaluar el comportamiento histórico de los elementos estructurales. Así mismo la normativa ASCE 7-10, en su capítulo 18, menciona que para estructuras con un sistema de amortiguamiento se puede analizar mediante procedimientos lineales, no lineales o una combinación de estos, sin embargo independientemente del análisis elegido, se verificara la respuesta dinámica máxima de la estructura y de los elementos del sistema de amortiguamiento usando el procedimiento tiempo-historia de respuesta no lineal. En la presente investigación, además de realizar un análisis estático y dinámico espectral, se tomó en cuenta el análisis tiempo-historia para evaluar la edificación propuesta debido a que integra sistemas de disipación de energía y por ser un análisis sísmico más real.

3.3.2 Metrado de Cargas Verticales

Para el modelamiento, análisis y diseño de la edificación proyectada se utilizó el programa ETABS 2016 el cual nos ayudará también para el cálculo del metrado de cargas por nivel. Para determinar el peso de la edificación por nivel se consideró las cargas brindadas en la norma E.020 “Cargas” del R.N.E, las cuales se resumen a continuación:

- Carga Viva (CV): 200 Kg/m²
- Carga Viva de techo (CVt): 100 Kg/m²
- Carga muerta (CM): 670 Kg/m²
 - > Aligerado: 420 Kg/m²
 - > Tabiquería móvil: 150 Kg/m²
 - > Piso Terminado: 2000 Kg/m³ x 0.05m. = 100 Kg/m²

Adicionalmente, la E.030 nos recomienda, en su capítulo 4.3, que para el cálculo del peso de la estructura, se debe considerar, dependiendo de la categoría de la edificación, el 100% de la carga muerta más un porcentaje de la carga viva, como lo muestra el cuadro 13.

Cuadro 13. *Estimación del peso de la Edificación según E.030.*

Estimación del Peso de la Edificación		
Categoría de Edificación	Carga Muerta	Carga Viva
A	100%	50%
B	100%	50%
C	100%	25%
Azoteas y techos en general	100%	25%

Teniendo en cuenta los criterios del cuadro 13, siendo nuestra edificación de categoría C según el cuadro (colocar el nombre de la tabla de tipo de edificación que se encuentra más adelante), se consideró usar el 100% de la carga muerta más el 25% de la carga viva, obteniendo los resultados presentados en el cuadro 14.

Cuadro 14. *Peso de la edificación multifamiliar.*

Nº de Pisos	Peso (Ton)
PISO 1	340.93
PISO 2	334.02
PISO 3	334.02
PISO 4	334.02
PISO 5	334.02
PISO 6	334.02
PISO 7	334.02
PISO 8	387.70
Σ	2632.77

3.3.3 Estructuración

3.3.3.1 Predimensionamiento de Losa Aligerada

Se proyectó usar losas aligeradas en una dirección para todos los sectores de la edificación, y se procedió a colocar las viguetas en aquellos paños con las luces más cortas siendo este el eje Y.

Para un dimensionamiento de la losa aligerada más exacto y cumpliendo con la normativa peruana, se usó el cuadro 15 extraída de la norma E.060 “Concreto Armado” del R.N.E.

Cuadro 15. *Espesor o peralte mínimo, h*

Espesor o peralte mínimo, h				
	Simplemente apoyados	Con un extremo continuo	Ambos extremos continuos	En voladizos
Elementos	Elementos que no soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos no estructurales susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes.			
Losas macizas en una dirección	$\frac{l}{20}$	$\frac{l}{24}$	$\frac{l}{28}$	$\frac{l}{10}$
Vigas o losas nervadas en una dirección	$\frac{l}{16}$	$\frac{l}{18.5}$	$\frac{l}{21}$	$\frac{l}{8}$

Fuente: E.060 “Concreto Armado”

Para ilustrar el método usado para el Predimensionamiento de las losas aligeradas, se muestra la figura 41 la cual muestra los factores usados en cada tramo de la losa más desfavorable mostrada en elevación.

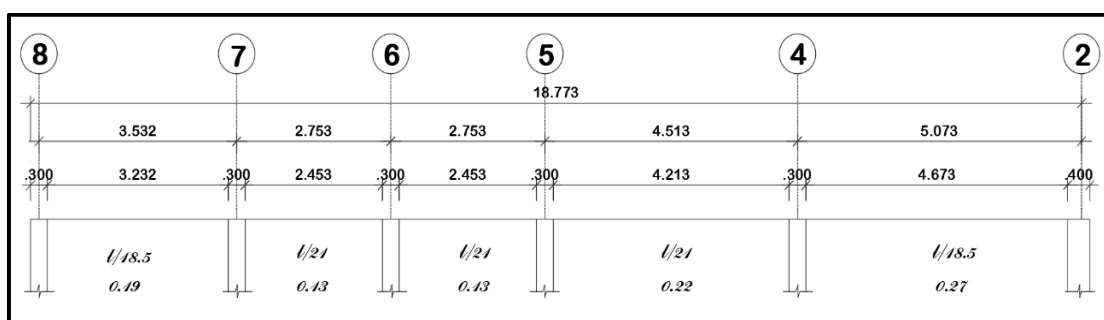


Figura 41. Factores para cada tramo de la losa aligerada más desfavorable.

Considerando el factor más desfavorable, con el propósito de uniformizar las secciones, se obtuvo:

$$h = \frac{Ln}{18.5} \quad (19)$$

Siendo:

- h: Espesor de Losa Aligerada
- Ln: Luz de la dirección más corta.

Operando:

$$h = \frac{5.073}{18.5} = 0.27 \cong 0.30\text{m.}$$

Como resultado, se obtuvo una losa aligerada con un espesor de 30 cm, para el cual utilizaremos ladrillos de medidas 30 x 30 x 25 cm. y un espesor de 10 cm para las viguetas, cubriendo los requerimientos del predimensionamiento.

3.3.3.2 Predimensionamiento de Vigas

Debido a la dirección de la losa aligerada, las vigas del eje “X” son las principales porque encima de ellas descansarán las viguetas; por otro lado, las vigas ubicadas en el eje “Y” serán consideradas como secundarias.

Adicionalmente se decidió uniformizar ambos tipos de vigas de acuerdo al predimensionamiento obtenido, para corresponder con el criterio de regularidad estructural.

Para el predimensionamiento de ambas vigas se usó las ecuaciones 20 y 21.

$$h = \frac{Ln}{11} \quad (20)$$

$$b = \frac{h}{2} \quad (21)$$

dónde:

- h : Altura de Viga
- Ln : Luz libre de viga (medidas desde la cara de los apoyos)
- B : Ancho de viga (no deberá ser menor a 25 cm, de acuerdo a recomendaciones de la E.030 para estructuras diseñadas sísmicamente)

- **Predimensionamiento de Vigas Principales:**

Para el valor de la luz libre de viga (Ln) se consideró el más desfavorable, es decir, la medida más grande.

Reemplazando en las ecuaciones 20 y 21, se obtuvo:

$$h = \frac{4.78}{11} = 0.43 = 0.45$$

$$b = \frac{0.45}{2} = 0.23 = 0.25$$

Luego del análisis sísmico considerando estas dimensiones obtenidas, se decidió dar una mayor rigidez al sistema aumentando sus dimensiones, colocando una sección de viga de 0.65 m. x 0.30 m.

- **Predimensionamiento de Vigas Secundarias:**

Para el valor de la luz libre de viga (Ln) se consideró el más desfavorable, es decir, la medida más grande.

Reemplazando en las ecuaciones 20 y 21, se obtuvo:

$$h = \frac{4.67}{11} = 0.42 = 0.45$$

$$b = \frac{0.45}{2} = 0.23 = 0.25$$

Luego del análisis sísmico considerando estas dimensiones obtenidas, se decidió dar una mayor rigidez al sistema aumentando sus dimensiones, colocando una sección de viga de 0.50 m. x 0.25m.

3.3.3.3 Predimensionamiento de Columnas

El predimensionamiento de las columnas se realizará teniendo en cuenta la flexo- compresión, para lo cual consideraremos la carga axial. Para ejemplificar, se tomará una unidad por cada tipo de columna con la mayor área tributaria, y se usará la expresión 22 para el determinar sus dimensiones.

$$Ac \geq \frac{PGxa}{n*f'c} \quad (22)$$

dónde:

- PG : Peso total por gravedad en cada columna (P x N x At)
- N : Número de pisos.
- P : Peso por cargas de gravedad.
- N : Factor que depende del tipo de columna.
- At : Área tributaria que recibe la columna.
- Ac : Área de la columna
- f'c : Resistencia a la compresión del concreto [Kg/cm2].
- a : Factor de amplificación del PG.

Para determinar las áreas tributarias se seleccionó las columnas más desfavorables, es decir, las que soportaran mayor peso, llegando a obtener los resultados mostrados en el cuadro 16.

Cuadro 16. Áreas tributarias de columnas más desfavorables.

Área tributaria C-1	15.09 m2
Área tributaria C-2	10.94 m2
Área tributaria C-3	11.03 m2
Área tributaria C-4	4.95 m2

Asimismo, para determinar los factores a y n se usará el cuadro 17, la cual nos brinda estos valores dependiendo del tipo de columnas a evaluar.

Cuadro 17. Factores a y n según el tipo de columna.

		a	n
C-1	Columna interior	1.10	0.3
C-2	Columna lateral perpendicular a la dirección de las viguetas	1.10	0.25
C-3	Columna lateral paralela a la dirección de las viguetas	1.25	0.25
C-4	Columna esquinera	1.50	0.2

El cuadro 18 muestra los cálculos realizados para obtener el peso que soportará cada columna los cuales serán usados dentro de la ecuación 22 para determinar las dimensiones de sus secciones.

Cuadro 18. Cálculo del peso total por gravedad en cada columna (PG)

Carga	Unidad	Peso Unit.	C-1 (Peso unit. X Área Trib.) [Tn]	C-1 (Peso unit. X Área Trib.) [Tn]	C-1 (Peso unit. X Área Trib.) [Tn]	C-1 (Peso unit. X Área Trib.) [Tn]
Aligerado	kg/m2	420	6.338	4.59	4.63	2.08
tabiquería	kg/m2	162	2.445	1.77	1.79	0.80
vigas principales	kg/m2	100	1.509	1.09	1.10	0.50
vigas secundarias	kg/m2	80	1.207	0.88	0.88	0.40
columnas	kg/m2	70	1.056	0.77	0.77	0.35
sobrecarga	kg/m2	200	3.018	2.19	2.21	0.99
Piso terminado	kg/m2	100	1.509	1.09	1.10	0.50
Peso total en cada columna por piso en (ton)			17.08	12.38	12.49	5.60
Peso total en cada columna en (ton)			136.66	99.07	99.89	44.83

$$Area\ C2 \geq \frac{136.66 \times 1.1}{0.3 \times 210} = 2386.04 cm^2$$

$$Area\ C2 \geq \frac{99.07 \times 1.1}{0.25 \times 210} = 2358.87 cm^2$$

$$Area\ C3 \geq \frac{99.89 \times 1.1}{0.25 \times 210} = 2325.71 cm^2$$

$$Area\ C4 \geq \frac{44.83 \times 1.1}{0.20 \times 210} = 1651.43 cm^2$$

Para las columnas C-1, C-2 y C-3 se consideró uniformizar a una sola dimensión de sección rectangular de 30 x 80 cm, mientras que para la columna C-4 se consideró una columna cuadrada de 40 x 40 cm. por motivos arquitectónicos; todo ello se resume en el cuadro 19.

Cuadro 19. *Resumen de las dimensiones de las columnas.*

TIPO DE COLUMNA	b (m)	h(m)
C-1	0.30	0.80
C-2	0.30	0.80
C-3	0.30	0.80
C-4	0.40	0.40

3.3.4 Propiedades de los materiales

Los materiales usados para el análisis y diseño de la estructura presentan unas propiedades físicas las cuales se muestran en el cuadro 20.

Cuadro 20. *Propiedades de los materiales*

CONCRETO			
Propiedad	Símbolo	Valor	Unidad
Resistencia a la compresión	f'_c	210	kg/cm ²
Módulo de Elasticidad	E_c	217371	kg/cm ²
Peso Especifico	γ	2400	kg/cm ²
Coeficiente de Poisson	ν	0.2	-
ACERO			
Propiedad	Símbolo	Valor	Unidad
Esfuerzo de Fluencia	f_y	4200	kg/cm ²
Módulo de Elasticidad	E_s	2000000	kg/cm ²

3.3.5 Modelamiento Estructural

Como ya se hizo mención anteriormente, el software que se usó para el análisis y diseño de la estructura fue ETABS 2016, en donde, en primera instancia se procedió a modelar los elementos estructurales que componen la edificación con las dimensiones del primer predimensionamiento para posteriormente analizarlo soportando cargas de gravedad y cargas sísmicas, donde los resultados indicaron necesidad de una mayor rigidez lateral por lo que se decidió el aumento de las dimensiones de las secciones de los elementos estructurales.

La figura 42 muestra el modelamiento de la estructuración propuesta para la vivienda multifamiliar presentada tomando en cuenta criterios de rigidez lateral y torsión.

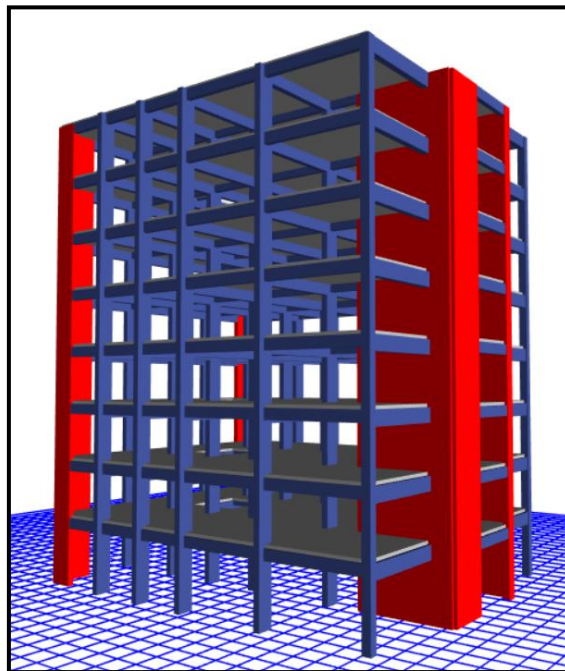


Figura 42. Modelamiento de la edificación en ETABS.

La estructuración presentada en la figura 42 comprende dos tipos de columnas, 30 x 80 cm. y 40 x 40 cm., vigas principales 30 x 65 cm. y vigas secundarias de 25 x 50cm., además, alrededor del ascensor y la escalera se proyectó placas de 25 cm de ancho, y para evitar la irregularidad por torsión se optó por colocar 2 placas en la parte posterior de la edificación.

La estructura de la edificación comprende principalmente de concreto armado, es por esto que se consideró:

- Carga Muerta: Para la carga muerta se consideró un total de 670 kg/m², el cual se añadió uniformemente en toda la sección de la losa (cada paño).
 - Aligerado (30 cm): 420 kg/m²
 - Tabiquería móvil: 150 kg/m²
 - Piso terminado: 100 kg/m²

Adicionalmente a la carga distribuida colocada correspondiente por cada paño de losa, se agregó una carga distribuida linealmente en las vigas laterales y vigas posteriores de la edificación, representando el peso de los muros de tabiquería. (Norma 0.20-cargas).

- Albañilería: $1800 \text{ Kg/m}^3 \times 2.50\text{m.} \times 0.15\text{m.} = 675 \text{ Kg/m}$
- Carga Viva: basándonos en la norma de Cargas E 0.20 del RNE se consideró, para uso de viviendas, una carga viva (sobrecarga) de 200 Kg/m² aplicados sobre todo el área de la losa aligerada.

3.3.5.1 Parámetros sísmicos

Según las características del modelo de estructura presentada, los parámetros sísmicos requeridos por la normativa sismorresistente peruana para su posterior análisis son:

- **Z**= factor de zona. En la figura 43 se muestra la zonificación basada en la distribución espacial de la sismicidad, además contiene una leyenda donde identifica las 4 zonas sísmicas de acuerdo al color.

Cuadro 21. Factores de Zona “Z”

FACTORES DE ZONA “Z”	
Zona	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.1

Fuente: E.030 “Diseño Sismorresistente”



Figura 43. Mapa de zonas sísmicas del Perú.
Fuente: E.030 "Diseño sismorresistente"-RNE

- **S**= Factor de ampliación del suelo: Este parámetro es el que se considera para describir las condiciones locales según el perfil del terreno. El cuadro 22 muestra los factores de suelo los cuales dependen del factor de zona y del tipo de suelo.

Cuadro 22. Factor de Suelo "S"

FACTOR DE SUELO "S"				
Zona/Suelo	S_0	S_1	S_2	S_3
Z_4	0.8	1	1.05	1.1
Z_3	0.8	1	1.15	1.2
Z_2	0.8	1	1.2	1.4
Z_1	0.8	1	1.6	2

Fuente: E.030 "Diseño Sismorresistente"

Cuadro 23. *Factor de Uso “U”*

CATEGORÍA DE LAS EDIFICACIONES Y FACTOR “U”		
CATEGORÍAS	DESCRIPCIÓN	FACTOR U
A : Edificaciones Esenciales	A1: Establecimientos de salud del Sector Salud (públicos y privados) del segundo y tercer nivel, según lo normado por el Ministerio de Salud.	Ver nota 1
	<p>A2: Edificaciones esenciales cuya función no debería interrumpirse inmediatamente después de que ocurra un sismo severo tales como:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Establecimientos de salud no comprendidos en la categoría A1. - Puertos, aeropuertos, locales municipales, centrales de comunicaciones. Estaciones de bomberos, cuarteles de las fuerzas armadas y policía. - Instalaciones de generación y transformación de electricidad, reservorios y plantas de tratamiento de agua. <p>Todas aquellas edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre, tales como instituciones educativas, institutos superiores tecnológicos y universidades.</p> <p>Se incluyen edificaciones cuyo colapso puede representar un riesgo adicional, tales como grandes hornos, fábricas y depósitos de materiales inflamables o tóxicos.</p> <p>Edificios que almacenen archivos e información esencial del Estado.</p>	1.5
B: Edificaciones Importantes	Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas tales como cines, teatros, estadios, coliseos, centros comerciales, terminales de pasajeros, establecimientos penitenciarios, o que guardan patrimonios valiosos como museos y bibliotecas. También se considerarán depósitos de granos y otros almacenes importantes para el abastecimiento.	1.3
C: Edificaciones Comunes	Edificaciones comunes tales como: viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios o fugas de contaminantes	1.0
D: Edificacioones Temporales	Construcciones provisionales para depósitos, casetas y otras similares.	Ver nota 2

Fuente: E.030 “Diseño Sismorresistente”

- **U**= factor según categorías de las edificaciones. Este parámetro clasifica a las edificaciones según su importancia dando una mayor prioridad a centros donde albergan gran cantidad de personas o que se usen como lugares de ayuda en caso de emergencias.
- **C**= factor de amplificación sísmico. Para determinar este valor es necesario obtener T, Tp Y TL. Para ello tomaremos a consideración la cuadro 24, para posteriormente hacer uso de las condiciones 23, 24 o 25:

Cuadro 24. *Periodo TP y TL*”

PERIODOS " T_P " Y " T_L "				
	Perfil del suelo			
	S_0	S_1	S_2	S_3
T_P (S)	0.3	0.4	0.6	1
T_L (S)	3	2.5	2	1.6

Fuente: E.030 “Diseño Sismorresistente”

$$T < T_P \quad C = 2.5 \quad (23)$$

$$T < T_P < T_L \quad C = 2.5 \times \left(\frac{T_P}{T} \right) \quad (24)$$

$$T > T_L \quad C = 2.5 \times \left(\frac{T_P \times T_L}{T^2} \right) \quad (25)$$

Siendo:

- > T : Periodo fundamental de la estructura. Este factor depende de la rigidez y de la masa de la estructura definida por la fórmula 26 considerando una vibración libre.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{K}}$$

dónde:

- ✓ m : masa del sistema
- ✓ K : rigidez del sistema
- > T_P : Periodo que define la plataforma del factor C

> T_L : Periodo que define el inicio de la zona del factor C con desplazamiento constante

- **R**= Coeficiente de Reducción de las fuerzas sísmicas. Este valor se determina considerando la ecuación 26 la cual la relaciona con la presencia de irregularidades en la estructura.

$$R = R_0 \times I_a \times I_p \quad (26)$$

Cuadro 25. *Coeficiente de Reducción Sísmica*

SISTEMAS ESTRUCTURALES		
SISTEMA ESTRUCTURAL		COEFICIENTE BÁSICO DE REDUCCIÓN R_0
ACERO	Pórticos Especiales Resistentes a Momentos (SMF)	8
	Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos (IMF)	7
	Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos (OMF)	6
	Pórticos Especiales Concéntricamente Arriostrados (SCBF)	8
	Pórticos Ordinarios Concéntricamente Arriostrados (OCBF)	6
	Pórticos Excéntricamente Arriostrados (EBF)	8
CONCRETO ARMADO	Pórticos	8
	Dual	7
	De muros estructurales	6
	Muros de ductilidad limitada	4
	Albañilería Armada o Confinada	3
	Madera (Por esfuerzos admisibles)	7

Fuente: Adaptada de E.030 “Diseño Sismorresistente”

- **I_a**= Irregularidad en altura. Este factor depende de la estructuración de la edificación y se define mediante diversos tipos de irregularidades donde, si la estructura presenta varias, se escogerá al que le corresponde el menor factor; y si fuera el caso de no presentar, se considera un I_a igual a 1. Los tipos de irregularidades en altura se presentan en el cuadro 26.

Cuadro 26. *Factor de Irregularidad en Altura*

IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN ALTURA	FACTOR DE IRREGULARIDAD I_a
Irregularidad de Rigidez - Piso Blando Irregularidad de Resistencia - Piso Débil	0.75
Irregularidad Extrema de Rigidez Irregularidad Extrema de Resistencia	0.50
Irregularidad de Masa o Peso	0.90
Irregularidad Geométrica Vertical	0.90
Discontinuidad en los Sistemas Resistencia	0.90
Discontinuidad Extrema de los Sistemas Resistentes	0.60

Fuente: Adaptada de E.030 “Diseño Sismorresistente”

- **I_p**= Irregularidad en planta. Este factor depende de la estructuración de la edificación y se define mediante diversos tipos de irregularidades dónde, si la estructura presenta varias, se escogerá al que le corresponde el menor factor; y si fuera el caso de no presentar, se considera un I_p igual a 1. Los tipos de irregularidades en planta se presentan en el cuadro 27.

Cuadro 27. *Factor de Irregularidad en Planta*

IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN PLANTA	FACTOR DE IRREGULARIDAD I_a
Irregularidad Torsional	0.75
Irregularidad Torsional Extrema	0.60
Esquinas entrantes	0.90
Discontinuidad del Diafragma	0.85
Sistemas no Paralelos	0.90

Fuente: Adaptada de E.030 “Diseño Sismorresistente”

3.3.6 Análisis Estático

3.3.6.1 Generalidades

Este tipo de análisis es un método que es representado por un conjunto de fuerzas actuando en el centro de masas (CM) de cada nivel de la edificación, ya sea regular o irregular. Es necesario este análisis para obtener la cortante basal mínima que afecta la edificación de la cual depende el diseño de los elementos estructurales.

3.3.6.2 Determinación de los parámetros sísmicos

Teniendo en cuenta los parámetros sísmicos anteriormente mencionados, determinaremos los valores para nuestro análisis:

- Según el cuadro 21, el valor para el factor de zona (Z) es 0,45.
- Así mismo, según el cuadro 23 y basándonos en nuestra edificación, esta clasifica en una categoría C, edificaciones comunes (Vivienda), teniendo un factor U igual a 1,0.
- Igualmente, Según el cuadro 22, el suelo presenta un factor “S” de 1,1.
- Según el cuadro 24, el factor TP y TL son 1,0 y 1,6 respectivamente.
- Para determinar el valor de amplificación sísmica C consideramos la condición 23 presentada anteriormente, obteniendo un factor C de 2,5, debido a que nuestra estructura presenta un periodo fundamental de vibración de 0.645 seg. con una masa participativa del 72% en el sentido de las abscisas.
- Para determinar el parámetro R, nos basamos en la ecuación 26, previa determinación del factor R0, según el cuadro 25, y de sus irregularidades que se evaluaron posteriormente en cada dirección de análisis, teniendo en cuenta los cuadros 26 y 27; sin embargo, como el análisis sísmico es un procedimiento iterativo, se llegó a obtener, para la dirección ortogonal X, un valor de I_a y I_p igual a 1 y 1 respectivamente, y para la dirección Y, 1 y 0.75 respectivamente.

3.3.6.3 Cálculo de la fuerza cortante en la base

La fuerza cortante total en la base de la estructura, teniendo en consideración la dirección a analizar, es la sumatoria de las fuerzas cortantes por nivel y se expresa mediante la ecuación 27.

$$V = \frac{Z.U.C.S}{R} \times P \quad (27)$$

dónde:

- Z= Factor de zona.
- U= Factor según categorías de las edificaciones.
- C= Factor de amplificación sísmico.
- S= Factor de ampliación del suelo.
- R= Coeficiente de Reducción de las fuerzas sísmicas.
- P= Peso total de la estructura.

El valor de C/R no deberá considerarse menor que:

$$\frac{C}{R} \geq 0.11$$

La fuerza cortante de una estructura se deberá calcular para ambas direcciones de análisis debido a que la presencia de irregularidades y el tipo de sistema estructural puede variar en ambos sentidos.

3.3.6.3.1 Análisis en la dirección ortogonal “X”

- Z= 0.45
- U= 1.0
- C= 2.5
- S= 1.1
- Ia= 1
- Ip= 1
- R₀= 6
- R= 6 x 1 x 1 = 6
- P= 2632.77 Ton.

Teniendo los parámetros sísmicos que componen la ecuación 27 para el cálculo de la fuerza cortante en la base en la dirección X, se reemplazó obteniendo una fuerza cortante de 543.009 Ton.

$$Vb_x = \frac{0.45 * 1 * 2.5 * 1.1}{6} * 2632.77 \text{ Ton.}$$

$$Vb_x = 543.009 \text{ Ton.}$$

Fuerzas inerciales de entrepiso:

Para la distribución de las fuerzas sísmicas en altura se empleó las ecuaciones 28 y 29 extraídas de la norma E.030 del RNE

$$F_i = a_i * V \quad (28)$$

$$a_i = \frac{P_i(h_i)^k}{\sum_{j=1}^n P_i(h_i)^k} \quad (29)$$

dónde:

- n: Número de pisos del edificio
- Pi: Peso del nivel i
- hi: Altura del nivel i
- k: Exponente que depende del periodo fundamental de vibración de la estructura (T), que se calcula de acuerdo a las condiciones 30 y 31:

$$T \leq 0.5 \text{ seg.} \quad k = 1.0 \quad (30)$$

$$T > 0.5 \text{ seg.} \quad k = (0.75 + 0.5T) \leq 2.0 \quad (31)$$

El cuadro 28 muestra los resultados de las fuerzas cortantes de entrepiso para la dirección X, donde se puede observar que la sumatoria de dichos valores resulta la fuerza cortante basal antes calculada.

Cuadro 28. *Fuerzas Resultantes de entrepiso, Eje X*

	PESO (Tn)	H (m)	$Pi(hi)^k$	xi	Fi
PISO 1	340.9337	3.35	1246.75	0.23282	126.4235
PISO 2	334.0229	2.85	1027.06	0.19179	104.1465
PISO 3	334.0229	2.85	1027.06	0.19179	104.1465
PISO 4	334.0229	2.85	1027.06	0.19179	104.1465
PISO 5	334.0229	2.85	1027.06	0.19179	104.1465
PISO 6	334.0229	2.85	1027.06	0.19179	104.1465
PISO 7	334.0229	2.85	1027.06	0.19179	104.1465
PISO 8	287.7015	2.85	884.63	0.16520	89.7037
Σ	2632.7726		5355.01	1.54879	543.0093

3.3.6.3.2 Análisis en la dirección ortogonal “Y”

- $Z = 0.45$
- $U = 1.0$
- $C = 2.5$
- $S = 1.1$
- $I_a = 1$
- $I_p = 0.75$
- $R_0 = 6$
- $R = 6 \times 1 \times 0.75 = 4.5$
- $P = 2632.77 \text{ Ton.}$

Teniendo los parámetros sísmicos que componen la ecuación 27 para el cálculo de la fuerza cortante en la base en la dirección Y, se reemplazó obteniendo una fuerza cortante de 724.013 Ton.

$$Vb_Y = \frac{0.45 \times 1 \times 2.5 \times 1.1}{4.5} \times 2632.77 \text{ Tn}$$

$$Vb_Y = 724.013 \text{ Tn}$$

Fuerzas inerciales de entrepiso:

El cuadro 29 muestra los resultados de las fuerzas cortantes de entrepiso para la dirección Y, donde se puede observar que la sumatoria de dichos valores resulta la fuerza cortante basal antes calculada.

Cuadro 29. Fuerzas Resultantes de entrepiso, Eje Y

	PESO (TN)	H (m)	$Pi(hi)^k$	xi	Fi (Tn)
PISO 1	340.9337	3.35	1246.75	0.23282	168.5646
PISO 2	334.0229	2.85	1027.06	0.19179	138.8620
PISO 3	334.0229	2.85	1027.06	0.19179	138.8620
PISO 4	334.0229	2.85	1027.06	0.19179	138.8620
PISO 5	334.0229	2.85	1027.06	0.19179	138.8620
PISO 6	334.0229	2.85	1027.06	0.19179	138.8620
PISO 7	334.0229	2.85	1027.06	0.19179	138.8620
PISO 8	287.7015	2.85	884.63	0.16520	119.6050
TOTAL	2632.7726		5355.01	1.54879	724.0125

3.3.7 Análisis Dinámico

3.3.7.1 Generalidades

Este tipo de análisis es un método que considera un modelo de comportamiento lineal y elástico con las solicitaciones sísmicas reducidas, en donde se tiene en cuenta los espectros de pseudo-aceleraciones de la edificación en cada eje ortogonal para determinar la aceleración espectral que le corresponde a la estructura según sus características.

3.3.7.2 Determinación de las irregularidades

El factor de reducción de fuerzas sísmicas (R) depende de dos factores, del sistema estructural y de la irregularidad de altura (Ia) y planta (IP) de la edificación; por lo cual, determinar los factores de irregularidad es de gran importancia para el análisis dinámico.

Irregularidad en altura (Ia):

- a) Irregularidad de Rigidez-Piso blando: el anexo 6 muestra la verificación de irregularidad por piso blando en ambos sentidos de análisis, dónde se comprueba las condiciones que especifica la normativa sismorresistente peruana E.030: Existe irregularidad de rigidez cuando la rigidez lateral de un piso es menor que el 70% de la rigidez lateral del entrepiso inmediato superior o menor del 80% de la rigidez promedio de los tres niveles superiores adyacentes. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018)

Para nuestra edificación se determinó que no existe irregularidad de rigidez de piso blando en ambos sentidos de análisis.

- b) Irregularidad de masa o peso: el anexo 7 detalla la verificación de irregularidad de masa o peso, donde se comprueba las condiciones que especifica la normativa sismorresistente peruana E.030. Existe irregularidad de masa cuando el peso de un nivel es mayor en 50% que los niveles adyacentes. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018)

Para nuestra edificación se determinó que no existe irregularidad de masa o peso.

- c) Irregularidad Geométrica vertical: el anexo 8 detalla la verificación de irregularidad geométrica vertical en ambos sentidos de análisis, donde se comprueba las condiciones que especifica la normativa sismorresistente peruana E.030: Existe irregularidad geométrica cuando la dimensión en planta de la estructura en una dirección es mayor en 30% que la de un piso adyacente. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018)

Para nuestra edificación se determinó que no existe irregularidad geométrica vertical.

Irregularidad en Planta (Ip):

- a) Irregularidad torsional: el anexo 9 expone la verificación de irregularidad torsional en ambos sentidos de análisis, donde se comprueba las condiciones que especifica la normativa sismorresistente peruana E.030: Existe irregularidad torsional cuando el máximo desplazamiento relativo de un entrepiso es mayor en 20% al desplazamiento relativo en su centro de masa. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018)

Para nuestra edificación se determinó que, si existe irregularidad torsional en el eje Y, es por ello que el factor I_p se consideró 0.75.

- b) Irregularidad torsional extrema: el anexo 10 expone la verificación de irregularidad torsional extrema en ambos sentidos de análisis,

donde se comprueba las condiciones que especifica la normativa sismorresistente peruana E.030: Existe irregularidad torsional extrema cuando el máximo desplazamiento relativo de un entrepiso es mayor en 50% al desplazamiento relativo promedio de los extremos. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018)

Para nuestra edificación se determinó que no existe irregularidad torsional extrema.

- c) Esquinas Entrantes: el anexo 11 muestra la verificación de irregularidad por esquinas entrantes en ambos sentidos de análisis, donde se comprueba las condiciones que especifica la normativa sismorresistente peruana E.030: Existe irregularidad de esquinas entrantes cuando las esquinas entrantes en cada dirección son mayores al 20% de la dimensión total en planta.

Para nuestra edificación se determinó que no existe irregularidad por esquinas entrantes en ninguna dirección.

3.3.7.3 Identificación del Sistema Estructural

Según el apartado 3.2.1 de la Norma E.030 del R.N.E, para que una edificación sea considerada aporticada se necesita que como mínimo el 80% de la fuerza cortante en la base actúe sobre las columnas de los pórticos; para que sea de muros estructurales deberá actuar como mínimo el 70% de la fuerza cortante en la base sobre las placas de concreto armado; para que se considere a la estructura como un sistema dual, las placas deberán soportar entre el 20% y 70% de la fuerza cortante en la base del edificio; y para que se considere una edificación de muros de ductilidad limitada (EMDL) debe componerse de muros de concreto armado de espesores reducidos armados por una sola capa de acero vertical. En este sentido es fundamental determinar el tipo de sistema estructural que caracteriza a la edificación multifamiliar propuesta, para establecer el cortante basal de la estructura en ambos sentidos de análisis.

Cuadro 30. *Fuerzas Cortantes en Columnas y Placas, Eje X*

Elemento Estructural	Vx (Dinámico)	%
Placas	355.16	87.17%
Columnas	52.26	12.83%
Total	407.42	100.00%

El cuadro 30 muestra los resultados obtenidos de la sumatoria de las fuerzas cortantes en todas las columnas y muros que trabajan en la dirección “X”, llegando a la conclusión que las placas absorben el 87.17% del cortante basal en la dirección de las abscisas, por ende, clasifica dentro de sistemas de muros estructurales.

Cuadro 31. *Fuerzas Cortantes en Columnas y Placas, Eje Y*

Elemento Estructural	Vy (Dinámico)	%
Placas	431.34	96.39%
Columnas	16.15	3.61%
Total	447.49	100.00%

El cuadro 31 muestra los resultados obtenidos de la sumatoria de las fuerzas cortantes en todas las columnas y muros que trabajan en la dirección “Y”, llegando a la conclusión que las placas absorben el 96.39% del cortante basal en la dirección de las ordenadas, por ende, se clasifica dentro de sistemas de muros estructurales.

3.3.7.4 Espectro de Pseudo-aceleraciones

Es la respuesta de la edificación frente a cargas sísmicas en un determinado tipo de suelo, que relaciona el tiempo en segundos y la aceleración espectral. Se consideró un espectro de respuestas para cada dirección de análisis (X y Y) debido a que el parámetro de reducción sísmica (R) son distintos en ambos sentidos. Las líneas de color rojo presentadas en las figuras 44 y 45 corresponden al periodo de la edificación y son las que designan la aceleración de análisis que le corresponde.

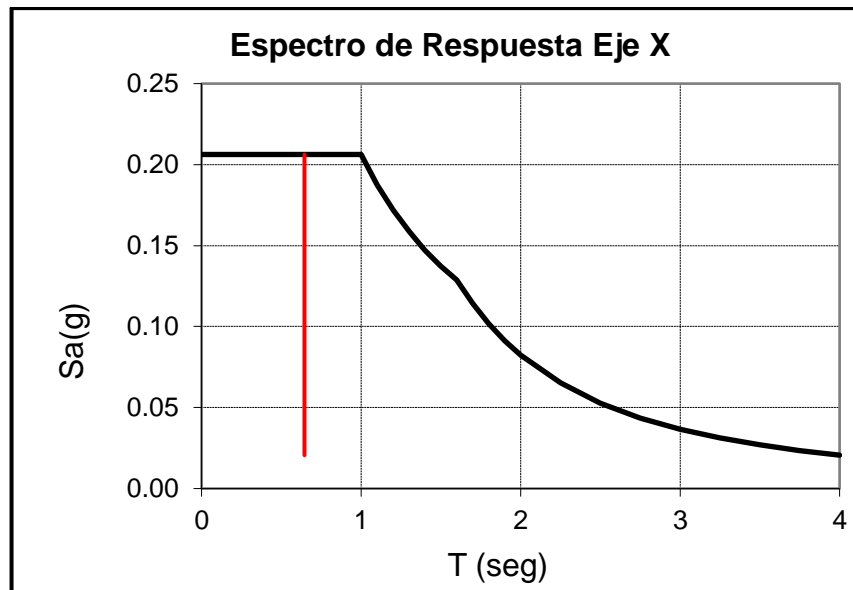


Figura 44. Espectro de Respuesta, Eje X.

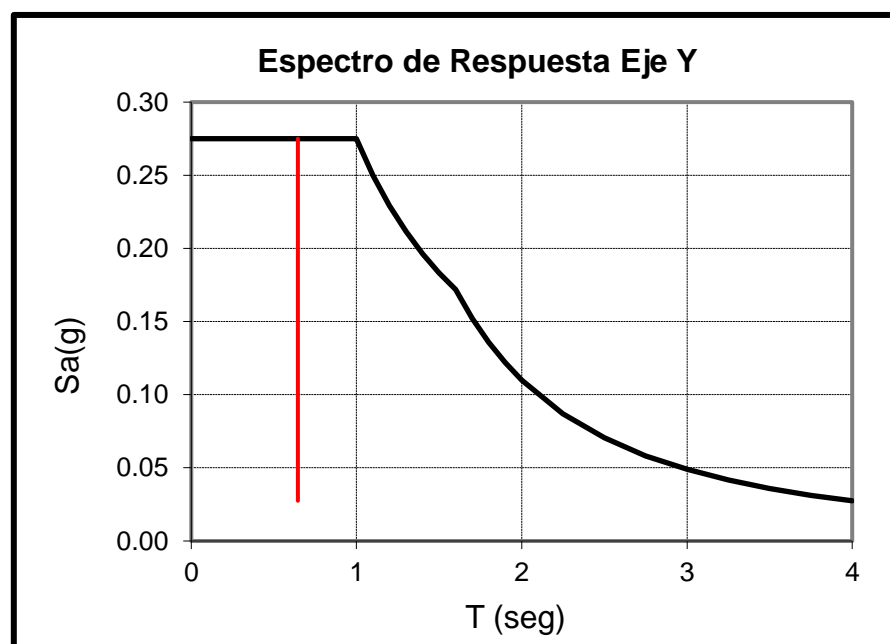


Figura 45. Espectro de Respuesta, Eje Y.

3.3.7.5 Resultados de Análisis

Desplazamientos Laterales: la deriva calculada en cada entrepiso no debe exceder el máximo permitido señalado en el cuadro 32.

Cuadro 32. Límites para la distorsión de entrepiso.

LÍMITES PARA LA DISTORSIÓN DEL ENTREPISO	
Material Predominante	(Δ_i/hei)
Concreto Armado	0.007
Acero	0.010
Albañilería	0.005
Madera	0.010
Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada	0.005

Fuente: Adaptada de E.030 “Diseño Sismorresistente”

Según el cuadro 32, para estructuras de concreto armado, la distorsión límite es de 7‰.

El cuadro 33 revela las derivas o distorsiones que presenta cada nivel de la estructura en la dirección X, por lo que se compara con el límite permitido y se encontró que 5 pisos están fuera de la normatividad superando el 0.007, con un máximo de 0.00826.

Cuadro 33. Distorsiones en CM, según sismo dinámico. Eje X

PISO	CARGA	UX	UX RELATIVOS	ALTURA ENTREPISO	DERIVAS EJE X	DERIVAS INELÁSTICAS EJE X (0.75R)	CONDICIÓN
		m	m	m			
PISO 8	SISMO DINÁMICO	0.03490	0.00411	2.85	0.00144	0.00649	SI CUMPLE
PISO 7	SISMO DINÁMICO	0.03079	0.00463	2.85	0.00163	0.00732	NO CUMPLE
PISO 6	SISMO DINÁMICO	0.02615	0.00500	2.85	0.00175	0.00789	NO CUMPLE
PISO 5	SISMO DINÁMICO	0.02116	0.00523	2.85	0.00183	0.00826	NO CUMPLE
PISO 4	SISMO DINÁMICO	0.01593	0.00521	2.85	0.00183	0.00823	NO CUMPLE
PISO 3	SISMO DINÁMICO	0.01071	0.00479	2.85	0.00168	0.00756	NO CUMPLE
PISO 2	SISMO DINÁMICO	0.00592	0.00382	2.85	0.00134	0.00603	SI CUMPLE
PISO 1	SISMO DINÁMICO	0.00210	0.00210	3.35	0.00063	0.00282	SI CUMPLE

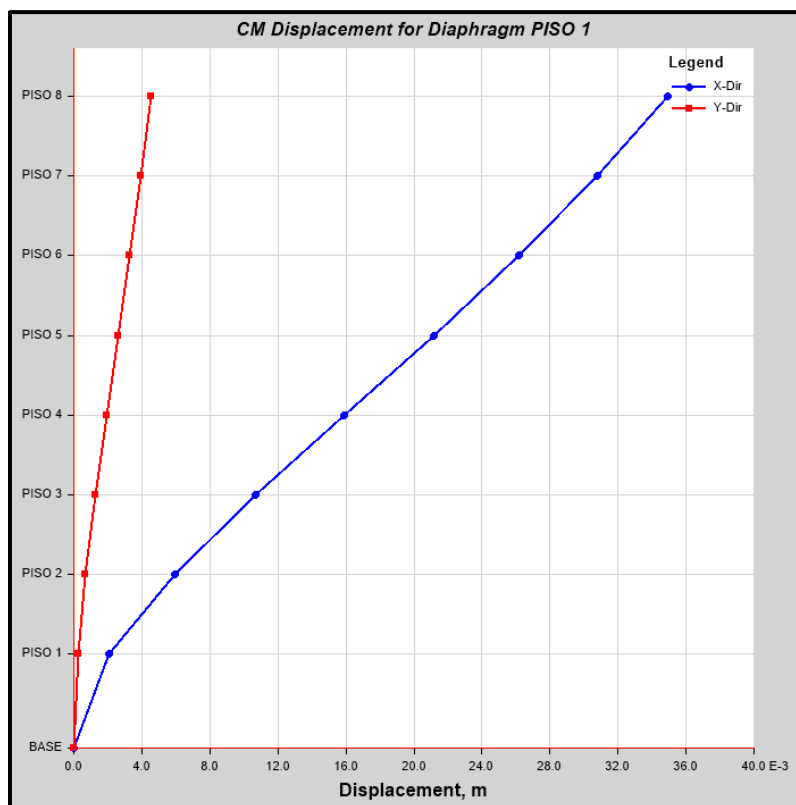


Figura 46. Desplazamientos en CM, según sismo dinámico en eje X

El cuadro 34 revela las derivas o distorsiones que presenta cada nivel de la estructura en la dirección Y, por lo que se compara con el límite permitido y se encontró que 5 pisos están fuera de la normatividad superando el 0.007, con un máximo de 0.00836.

Cuadro 34. Distorsiones en CM, según sismo dinámico. Eje Y

PISO	CARGA	UY	UY RELATIVOS	ALTURA ENTREPISO	DERIVAS EJE Y	DERIVAS INELÁSTICAS EJE Y (0.85R)	CONDICIÓN
		m	m	m			
PISO 8	SISMO DINÁMICO	0.03073	0.00449	2.85	0.00158	0.00804	NO CUMPLE
PISO 7	SISMO DINÁMICO	0.02624	0.00462	2.85	0.00162	0.00827	NO CUMPLE
PISO 6	SISMO DINÁMICO	0.02162	0.00467	2.85	0.00164	0.00836	NO CUMPLE
PISO 5	SISMO DINÁMICO	0.01695	0.00457	2.85	0.00160	0.00818	NO CUMPLE
PISO 4	SISMO DINÁMICO	0.01238	0.00426	2.85	0.00149	0.00762	NO CUMPLE
PISO 3	SISMO DINÁMICO	0.00812	0.00368	2.85	0.00129	0.00659	SI CUMPLE
PISO 2	SISMO DINÁMICO	0.00443	0.00282	2.85	0.00099	0.00504	SI CUMPLE
PISO 1	SISMO DINÁMICO	0.00162	0.00162	3.35	0.00048	0.00246	SI CUMPLE

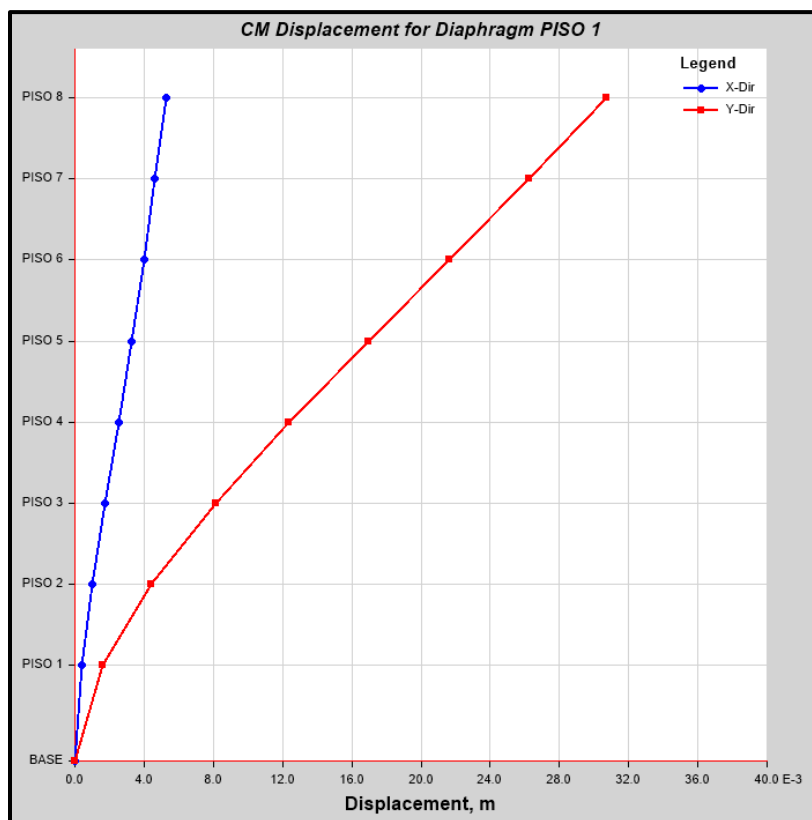


Figura 47. Desplazamientos en CM, según sismo dinámico en eje Y

Cortante en la base:

Para la dirección de análisis “X”, el análisis dinámico modal espectral nos proporciona una cortante de 477.77 Tn; mientras que en la dirección “Y” nos brinda una cortante basal de 524.76 Tn, como lo muestra la cuadro 35.

Cuadro 35. Cortante basal dinámico.

DIRECCIÓN DE ANÁLISIS	CORTANTE BASAL (Tn)
X	477.77
Y	524.76

las figuras 48 y 49 muestran las fuerzas inerciales de entrepiso por nivel considerando la carga sísmica dinámica-espectral tanto en la dirección X como en Y.

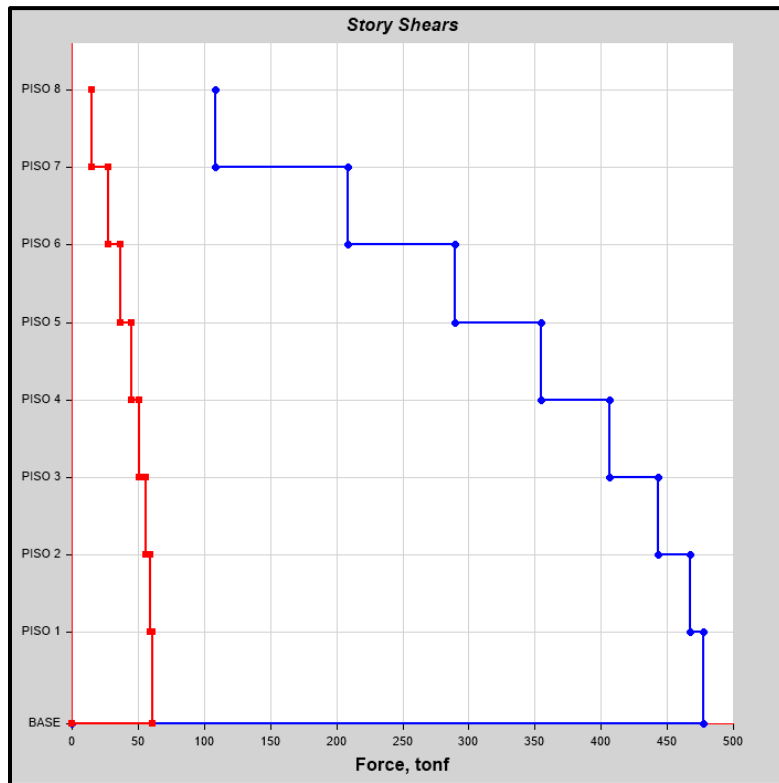


Figura 48. Fuerzas Inerciales de entrepiso, según sismo dinámico en eje X

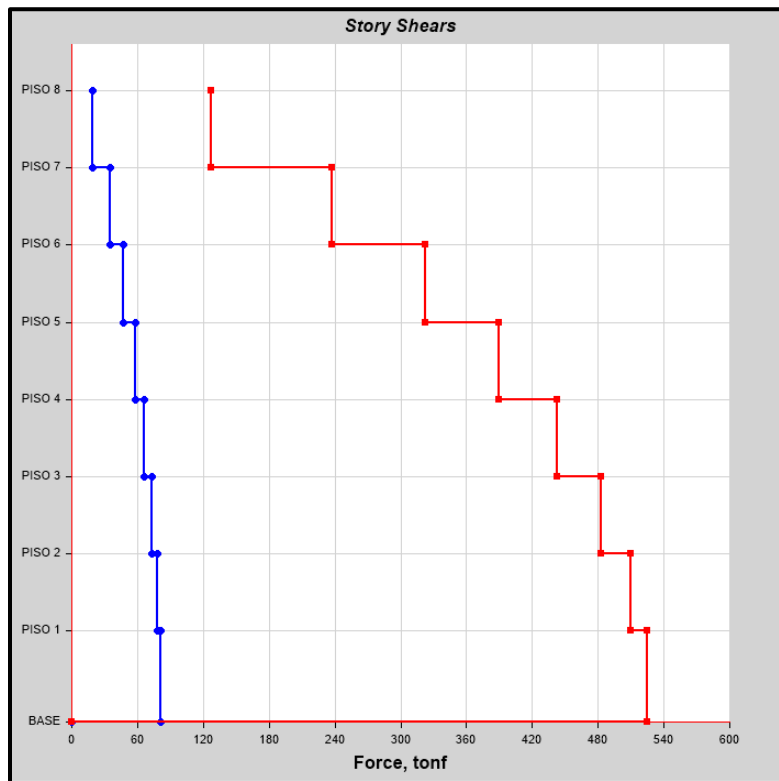


Figura 49. Fuerzas Inerciales de entrepiso, según sismo dinámico en eje Y

3.3.7.6 Fuerza Cortante de Diseño

La norma E.060 del RNE nos otorga la fuerza cortante mínima que debería de tener la estructura sometida a carga sísmica producto del análisis dinámico, las cuales dependen de la cortante basal obtenida del análisis estático. Estos datos están resumidos en el cuadro 36.

Cuadro 36. *Cortante Basal mínimo.*

ESTRUCTURA	CORTANTE DINÁMICO
Regular	80% del Cortante Estático
Irregular	90% del Cortante Estático

Para la edificación presentada se verificó que la fuerza cortante de diseño extraídos del análisis dinámico espectral, cumpla la condición antes expuesta; en caso que no lo fuera, se deberá escalar la aceleración espectral, es decir, se deberá multiplicar por un factor de escala calculado de acuerdo a las cortantes extraídas del análisis estático y dinámico. Esos datos extraídos se usaron esencialmente para el diseño de los elementos estructurales, mas no para la verificación de las derivas.

Cuadro 37. *Condición de Cortante mínimo, eje X y Y*

CORTANTE BASAL	ESTÁTICO	DINÁMICO	
XX	549.0916	477.7698	ESCALAR
YY	731.9447	524.755	ESCALAR

Como lo muestra el cuadro 37, es necesario escalar las aceleraciones espectrales para posteriormente obtener los esfuerzos de los elementos estructurales y finalmente diseñarlos. Sus factores de escalas según el sentido de análisis son:

- Factor de Escala en el eje X: 1.0344
- Factor de Escala en el eje Y: 1.2553

3.3.7.7 Análisis de Modos y Frecuencias

Para el análisis modal, se consideró un numero de modos de vibración de 3 por nivel (24 modos), debido a que, con este valor mínimo, la sumatoria de las sus masas participativas superaron el 90% de la masa total de la edificación.

El cuadro 38 muestra el número de modos con sus respectivos periodos y masas participativas; así mismo por deducción se comprobó que los dos primeros modos sean traslacionales y el tercero sea rotacional. Adicionalmente se determinó que el periodo fundamental de la estructura es 0.645 segundos por presentar un porcentaje de masa participativa del 71.9% en el eje X.

Cuadro 38. *Análisis Modal con sus masas participativas.*

Modos	Periodo	UX	UY	RZ	Σ UX	Σ UY	Σ RZ
	seg.						
1	0.645	0.719	0.0119	0.0001	0.719	0.0119	0.0001
2	0.594	0.0055	0.3455	0.3598	0.7245	0.3575	0.3599
3	0.524	0.0068	0.3469	0.36	0.7313	0.7044	0.7199
4	0.167	0.1444	0.003	0.0066	0.8756	0.7074	0.7265
5	0.14	0.0129	0.047	0.1153	0.8886	0.7545	0.8418
6	0.124	3.98E-06	0.1484	0.0454	0.8886	0.9028	0.8872
7	0.075	0.0528	0.0009	0.0044	0.9414	0.9038	0.8917
8	0.061	0.0052	0.0243	0.0319	0.9466	0.928	0.9236
9	0.056	0.001	0.0325	0.0243	0.9476	0.9605	0.9479
10	0.044	0.0252	0.0002	0.0025	0.9728	0.9607	0.9504
11	0.037	0.0006	0.0206	0.0026	0.9735	0.9813	0.9529
12	0.034	0.0022	0.002	0.0233	0.9756	0.9834	0.9763
13	0.03	0.0126	4.02E-05	0.0013	0.9883	0.9834	0.9775
14	0.027	0.0001	0.0096	0.0003	0.9884	0.9931	0.9778
15	0.024	0.001	0.0001	0.0124	0.9894	0.9932	0.9902
16	0.022	0.0062	1.10E-05	0.0005	0.9956	0.9932	0.9907
17	0.022	2.66E-05	0.0044	0.0001	0.9957	0.9976	0.9908
18	0.019	2.31E-06	0.0019	1.57E-06	0.9957	0.9994	0.9908
19	0.018	0.0022	0	0.0007	0.9979	0.9994	0.9915
20	0.018	0.001	5.46E-07	0.0054	0.9988	0.9994	0.9969
21	0.017	0	0.0005	0	0.9988	1	0.9969
22	0.016	0.0007	0	0.0001	0.9995	1	0.997
23	0.015	0.0004	0	0.0024	0.9999	1	0.9993
24	0.013	0.0001	0	0.0007	1	1	1

3.3.7.8 Junta de Separación Sísmica

La junta sísmica entre las viviendas adyacentes debe ser no menor a 0.006h y mayor a 0.03m. La edificación propuesta tendrá una separación de 0.14 m. en todos sus lados colindantes.

3.3.8 Análisis Tiempo – Historia

3.3.8.1 Generalidades

La normativa norteamericana ASCE7-10 en su capítulo 18 “Requerimientos de diseño sísmico para estructuras con sistemas de disipación”, recomienda métodos lineales y no lineales para el análisis de la estructura, sin embargo, para efectos de la presente investigación se consideró realizar un análisis tiempo- historia, tomando como base lo estipulado en la norma americana y norma peruana. El análisis dinámico Tiempo-historia es un procedimiento que considera un modelo matemático lineal, métodos de integración numérica y conjuntos de historias de aceleraciones del movimiento del terreno compatibles con el espectro de respuesta de diseño para el análisis, todo ello para determinar la respuesta estructural de la edificación que integra sistemas de disipación de energía.

3.3.8.2 Determinación del Espectro Base de Pseudo-aceleraciones

La E.030 refiere que los componentes horizontales de los registros de aceleración seleccionados deben ser escalados de tal manera que los valores de aceleraciones espectrales no sean menores que los obtenidos del espectro de diseño considerando R igual a 1, por ende, el espectro de respuesta base será el mostrado en la figura 50 para $R=1$.

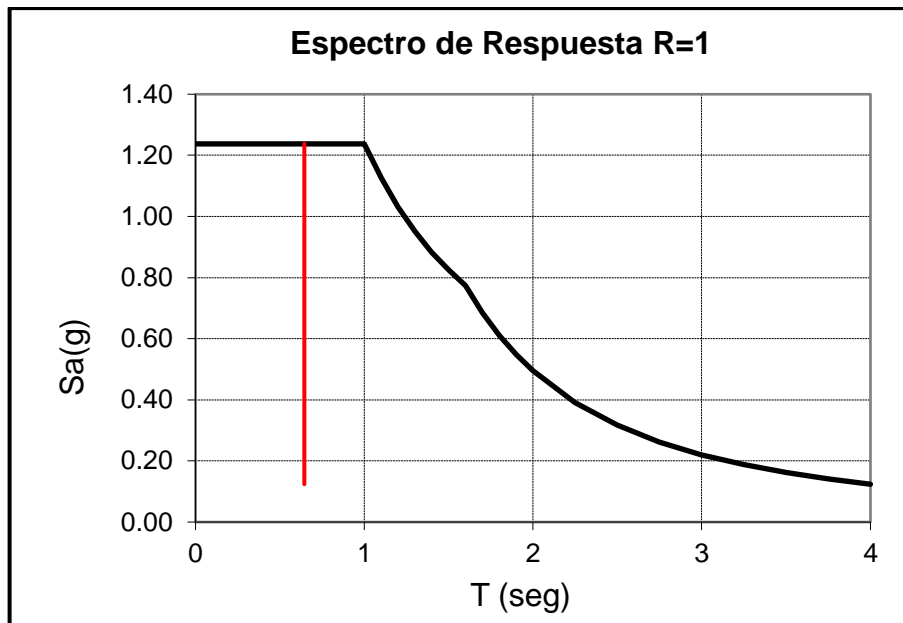


Figura 50. Espectro de Respuesta con $R=1$.

Según la figura 50, las respuestas espectrales considerando $R=1$ son mayores a las calculadas en el análisis dinámico, debido a que el valor R es inversamente proporcional a la aceleración espectral. Con estos datos se procedió a analizar la estructura para determinar sus desplazamientos relativos y derivas con la finalidad de compararlos con los resultados analizados con los sismos seleccionados posteriormente y elegir el sismo de diseño más desfavorable.

3.3.8.3 Selección de Registros Sísmicos

La norma norteamericana ASCE7-10 nos recomienda lo siguiente:

- La aceleración y velocidad pico deberá ser cercana a valor del sitio de interés, es decir, los registros seleccionados deben contemplar, las mismas características de suelo que las de la zona del proyecto.
- Se deben emplear por lo menos 3 pares de registros sísmicos en sus componentes horizontales, norte-sur, este-oeste.
- Las características locales del sitio deben ser similares a las del sitio de interés.

Para la presente investigación se consideró los siguientes sismos, extraídos de la base de datos de la red de acelerógrafos del CISMID (Centro peruano-japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres) de la Universidad Nacional de Ingeniería.

- Ica (15/08/2007): Los datos fueron extraídos de la estación “UNICA”, la cual registró una magnitud en la escala de Richter de 7.0 y una máxima aceleración en la dirección E-O de -272.82 cm/s^2 y en la dirección N-S de 333.66 cm/s^2

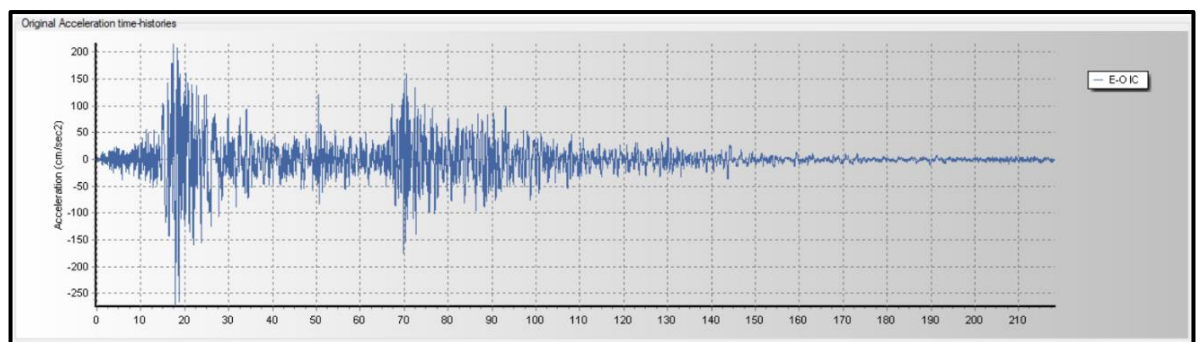


Figura 51. Acelerograma Real de Ica (15/08/2007). Este-Oeste

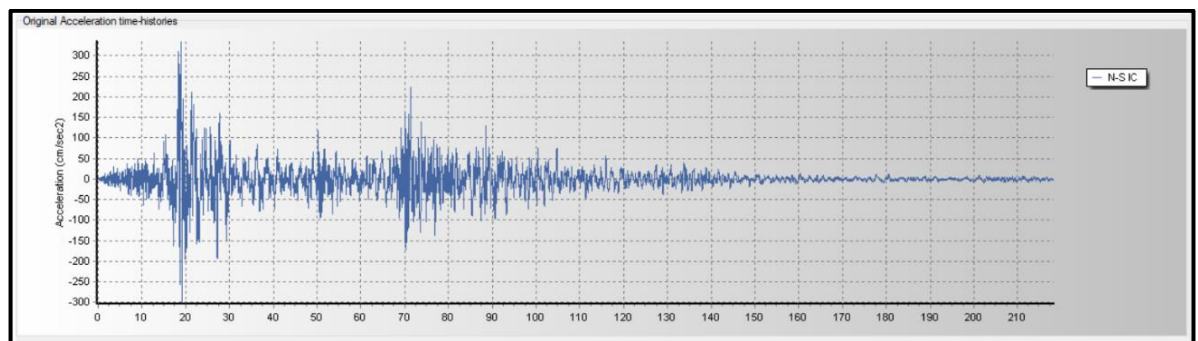


Figura 52. Acelerograma Real de Ica (15/08/2007). Norte-Sur

- Moquegua (07/07/2001): Los datos fueron extraídos de la estación “UNSA”, la cual registró una magnitud en la escala de Richter de 6.5 y una máxima aceleración en la dirección E-O de -123.21 cm/s^2 y en la dirección N-S de -120.52 cm/s^2

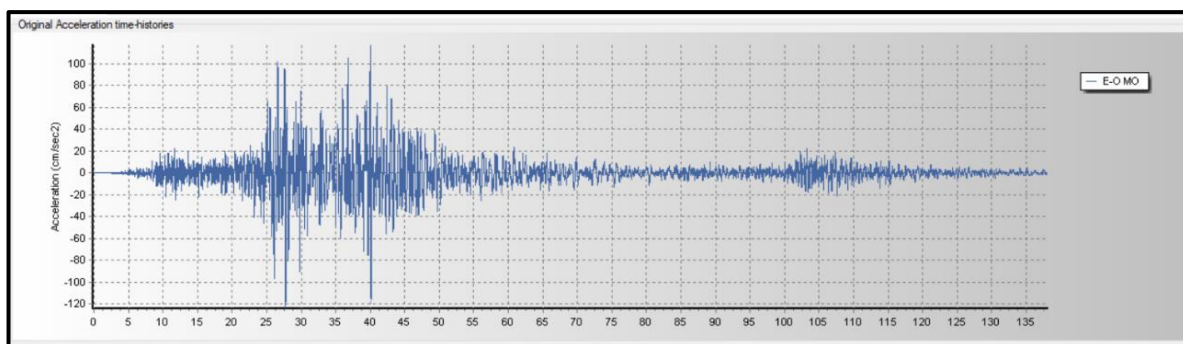


Figura 53. Acelerograma Real de Moquegua (07/07/2001). Este-Oeste

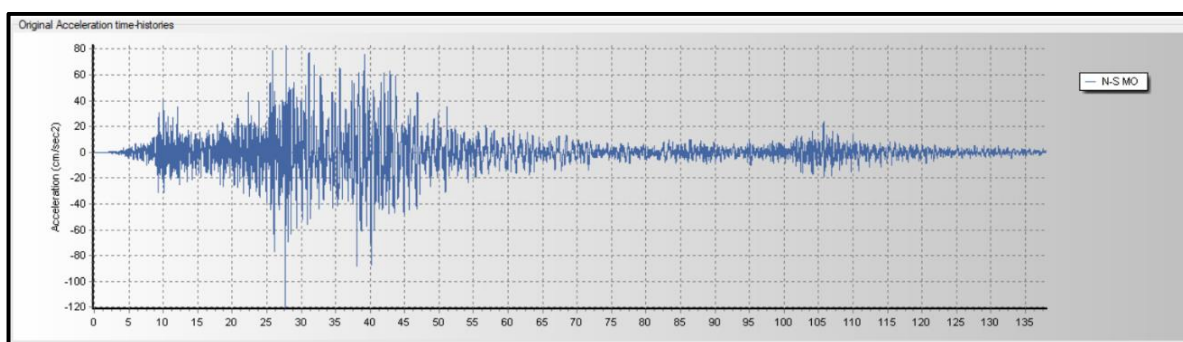


Figura 54. Acelerograma Real de Moquegua (07/07/2001). Norte-Sur

- Moyobamba (25/09/2005): Los datos fueron extraídos de la estación “MOYOBAMBA”, la cual registró una magnitud en la escala de Richter de 7.0 y una máxima aceleración en la dirección E-O de - 131.36 cm/s² y en la dirección N-S de -103.39 cm/s².

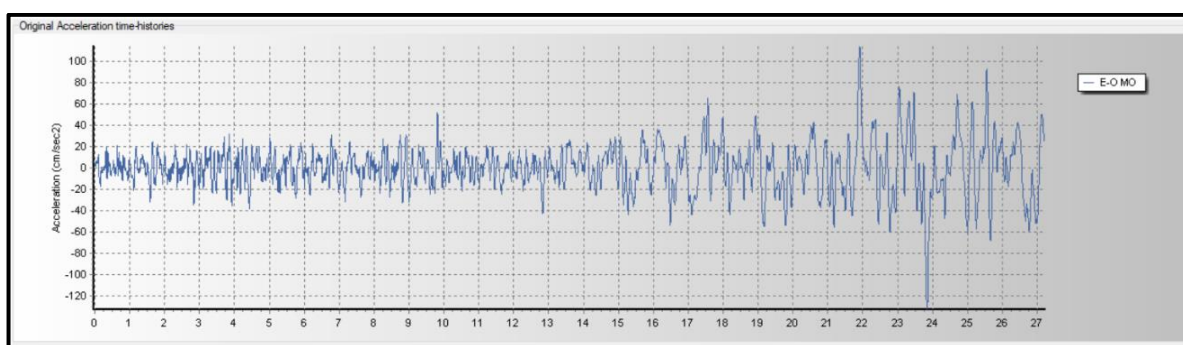


Figura 55. Acelerograma Real de Moyobamba (25/09/2005). Este-Oeste

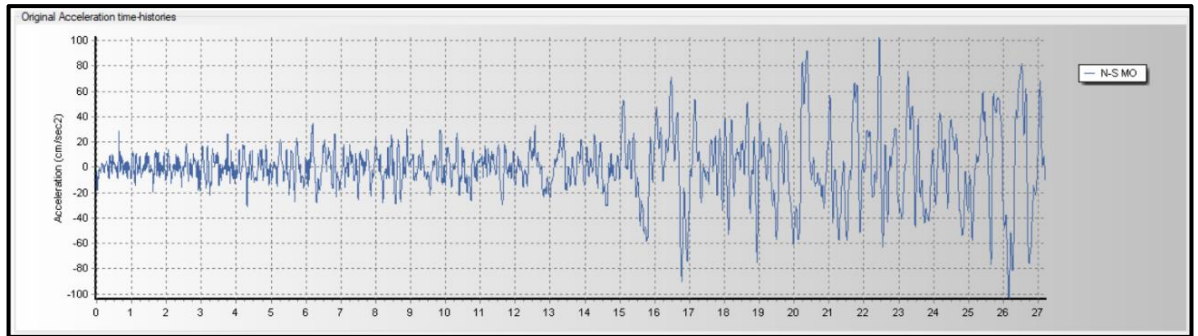


Figura 56. Acelerograma Real de Moyobamba (25/09/2005), Norte-Sur.

3.3.8.4 Escalamiento de Registros Sísmicos

Luego de haber seleccionado los registros sísmicos se procedió a escalarlos considerando el espectro de respuesta con el valor de R igual a 1. Para este escalamiento se usó del programa SismoMatch, el cual brinda los nuevos diagramas tiempo-historia escalados, además del espectro de respuesta escalados.

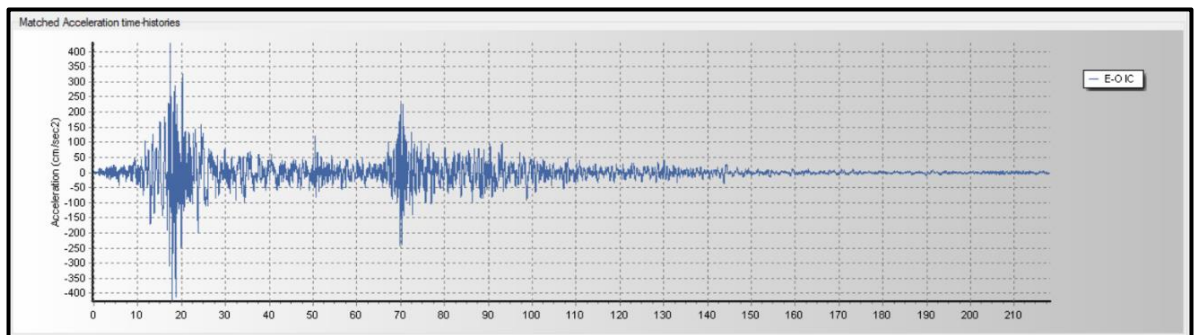


Figura 57. Acelerograma Escalado de Ica (15/08/2007), Este-Oeste.

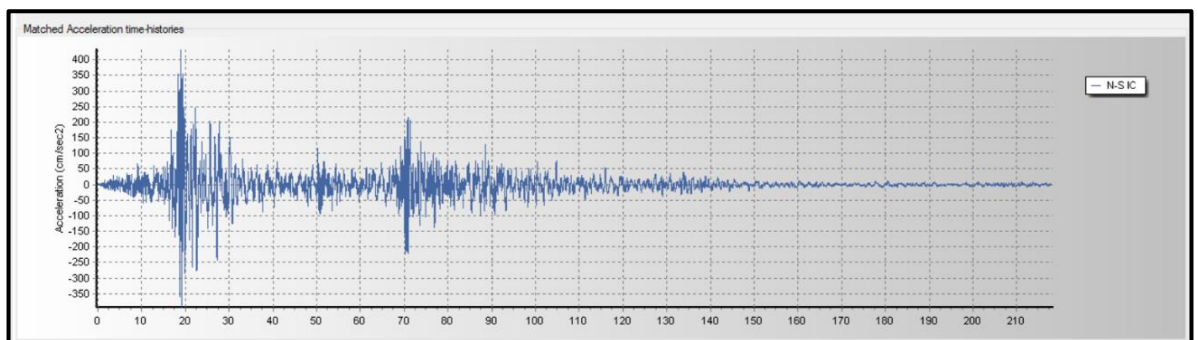


Figura 58. Acelerograma Escalado de Ica (15/08/2007), Norte-Sur.

La figura 57 y 58 muestran los acelerogramas escalados en sus dos direcciones para el sismo de Ica de acuerdo al espectro de respuesta con un factor R igual a 1 como lo indica la E.030 del RNE, obteniendo como resultado una aceleración máxima, de Este a Oeste, aproximadamente dos veces mayor al real, y de Norte a Sur, 1.33 veces mayor al original. Por lo cual se deduce que el escalamiento de los acelerogramas es para generar uno nuevo con un factor de amplificación de acuerdo a las características del terreno y de la edificación.

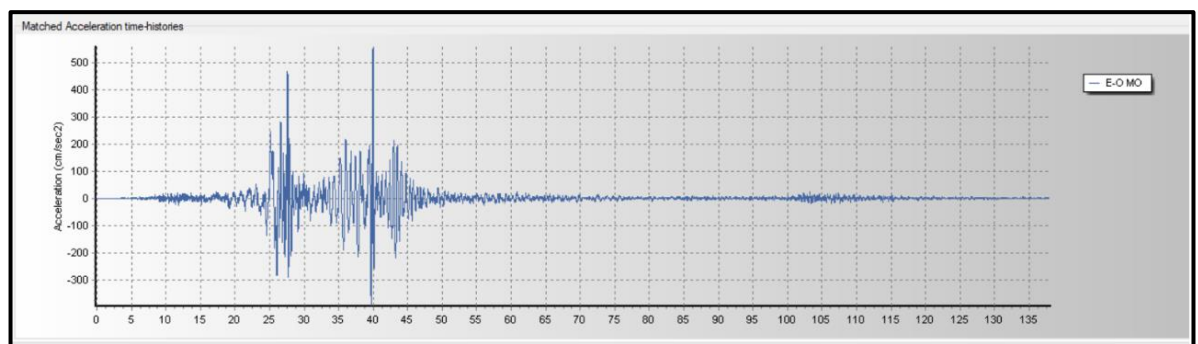


Figura 59. Acelerograma Escalado de Moquegua (07/07/2001), Este-Oeste.

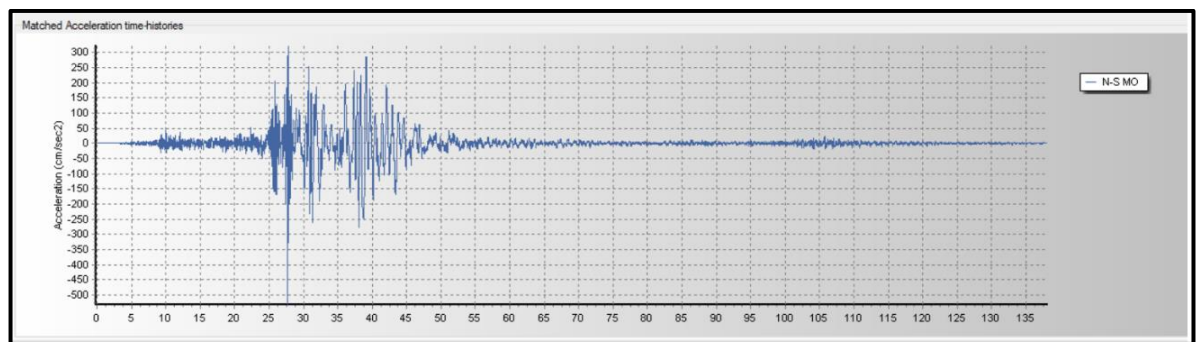


Figura 60. Acelerograma Escalado de Moquegua (07/07/2001), Norte-Sur.

La figura 59 y 60 muestran los acelerogramas escalados en sus dos direcciones para el sismo de Moquegua de acuerdo al espectro de respuesta con un factor R igual a 1 como lo indica la E.030 del RNE, obteniendo como resultado una aceleración máxima, de Este a Oeste, aproximadamente cinco veces mayor al real, y de Norte a Sur, 3.75 veces mayor al original.

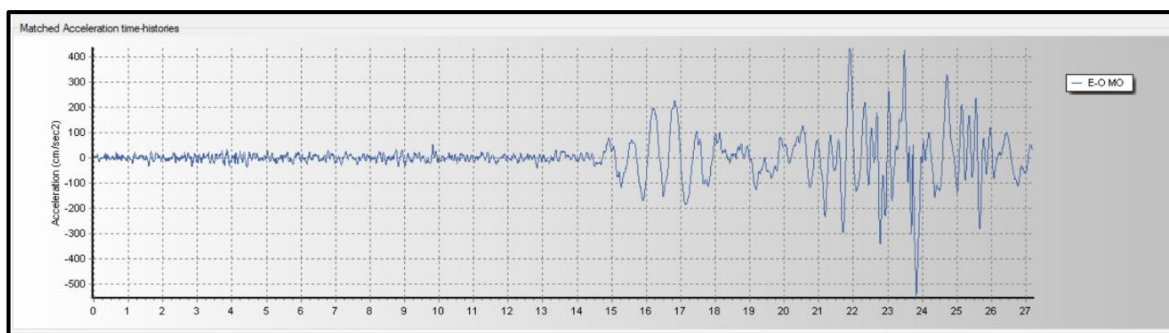


Figura 61. Acelerograma Escalado de Moyobamba (25/09/2005), Este-Oeste.

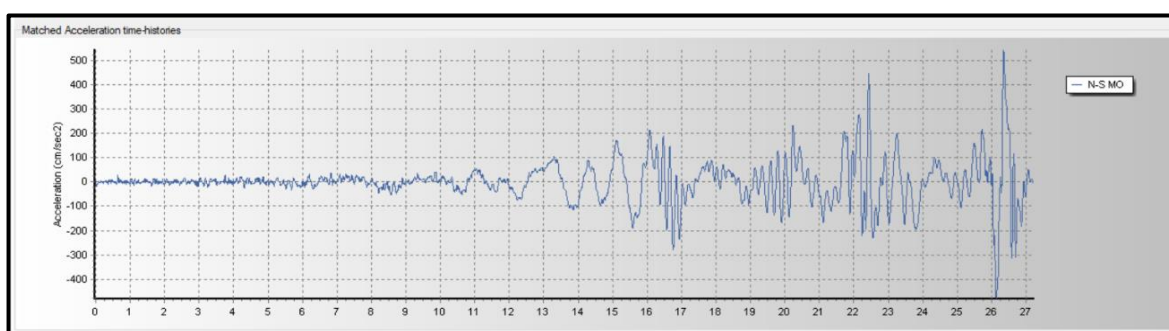


Figura 62. Acelerograma Escalado de Moyobamba (25/09/2005), Norte-Sur.

La figura 61 y 62 muestran los acelerogramas escalados en sus dos direcciones para el sismo de Moyobamba de acuerdo al espectro de respuesta con un factor R igual a 1 como lo indica la E.030 del RNE, obteniendo como resultado una aceleración máxima, de Este a Oeste, aproximadamente cuatro veces mayor al real, y de Norte a Sur, cinco veces mayor al original.

3.3.8.5 Determinación del Sismo de Diseño

Con los acelerogramas escalados de cada sismo seleccionado en cada una de sus direcciones horizontales se analizó la edificación multifamiliar con el fin de obtener su respuesta estructural, representada por sus derivas en cada piso.

El sismo de diseño será seleccionado teniendo como criterio principal la mayor cantidad de derivas que no cumplen con la deriva límite (0.007) estipulada en el cuadro 32, además de la comparación con los resultados obtenidos del análisis dinámico con espectro de pseudo-aceleraciones con un valor de R igual a 1, descrito anteriormente.

Para este procedimiento, se consideró 2 casos de cargas por cada sismo alternando sus componentes por cada eje ortogonal X y Y.

Los siguientes cuadros muestran los resultados de las derivas por cada caso de sismo, siendo los siguientes:

- Ica 2007:
 - Caso 1: E-O en la dirección X y N-S en la dirección Y

Cuadro 39. *Derivas por nivel con Sismo Ica-Caso 1.*

DERIVAS	ESPECTRO R=1		EJE X	DIF.	EJE Y	DIF.
	XX	YY				
PISO 8	0.00720	0.00688	0.00752	-0.0003	0.00731	-0.0004
PISO 7	0.00788	0.00721	0.00837	-0.0005	0.00754	-0.0003
PISO 6	0.00873	0.00741	0.00913	-0.0004	0.00759	-0.0002
PISO 5	0.00932	0.00738	0.00966	-0.0003	0.00737	0.0000
PISO 4	0.00942	0.00698	0.00966	-0.0002	0.00682	0.0002
PISO 3	0.00879	0.00612	0.00889	-0.0001	0.00585	0.0003
PISO 2	0.00712	0.00469	0.00711	0.0000	0.00446	0.0002
PISO 1	0.00341	0.00219	0.00393	-0.0005	0.00257	-0.0004

Según el cuadro 39, la máxima deriva en la dirección X, está dada por 0.00966 en el piso 5 y 4, mientras que en el eje “Y” se muestra una deriva máxima de 0.00759 en el piso 6. Adicionalmente se muestra de manera implícita que 11 pisos sobrepasan el límite de deriva establecida, 0.007.

- Caso 2: N-S en la dirección X y E-O en la dirección Y

Cuadro 40. *Derivas por nivel con Sismo Ica-Caso 2*

DERIVAS	ESPECTRO R=1		EJE X	DIF.	EJE Y	DIF.
	XX	YY				
PISO 8	0.00720	0.00688	0.00635	0.0008	0.00609	0.0008
PISO 7	0.00788	0.00721	0.00725	0.0006	0.00630	0.0009
PISO 6	0.00873	0.00741	0.00791	0.0008	0.00641	0.0010
PISO 5	0.00932	0.00738	0.00835	0.0010	0.00633	0.0010
PISO 4	0.00942	0.00698	0.00837	0.0011	0.00597	0.0010
PISO 3	0.00879	0.00612	0.00772	0.0011	0.00524	0.0009
PISO 2	0.00712	0.00469	0.00617	0.0010	0.00408	0.0006
PISO 1	0.00341	0.00219	0.00339	0.0000	0.00242	-0.0002

Según el cuadro 40, la máxima deriva en la dirección X, está dada por 0.00837 en el piso 4, mientras que en el eje “Y” se muestra una deriva máxima de 0.00641 en el piso 6. Adicionalmente se muestra que 5 pisos sobrepasan el límite de deriva establecida, 0.007.

- Moquegua 2001:
 - Caso 1: E-O en la dirección X y N-S en la dirección Y

Cuadro 41. *Derivas por nivel con Sismo Moquegua-Caso 1.*

DERIVAS	ESPECTRO R=1		EJE X	DIF.	EJE Y	DIF.
	XX	YY				
PISO 8	0.00720	0.00688	0.00650	0.0007	0.00438	0.0025
PISO 7	0.00788	0.00721	0.00715	0.0007	0.00454	0.0027
PISO 6	0.00873	0.00741	0.00774	0.0010	0.00463	0.0028
PISO 5	0.00932	0.00738	0.00811	0.0012	0.00457	0.0028
PISO 4	0.00942	0.00698	0.00791	0.0015	0.00430	0.0027
PISO 3	0.00879	0.00612	0.00729	0.0015	0.00376	0.0024
PISO 2	0.00712	0.00469	0.00585	0.0013	0.00290	0.0018
PISO 1	0.00341	0.00219	0.00323	0.0002	0.00167	0.0005

Según el cuadro 41, la máxima deriva en “X”, está dada por 0.00811 en el piso 5, mientras que en el eje “Y” se muestra una deriva máxima de 0.00463 en el piso 6. Adicionalmente se muestra que 5 pisos sobrepasan el límite de deriva establecida, 0.007.

- Caso 2: N-S en la dirección X y E-O en la dirección Y

Cuadro 42. *Derivas por nivel con Sismo Moquegua-Caso 2.*

DERIVAS	ESPECTRO R=1		EJE X	DIF.	EJE Y	DIF.
	XX	YY				
PISO 8	0.00720	0.00688	0.00476	0.0024	0.00522	0.0017
PISO 7	0.00788	0.00721	0.00504	0.0028	0.00543	0.0018
PISO 6	0.00873	0.00741	0.00545	0.0033	0.00547	0.0019
PISO 5	0.00932	0.00738	0.00591	0.0034	0.00532	0.0021
PISO 4	0.00942	0.00698	0.00607	0.0033	0.00491	0.0021
PISO 3	0.00879	0.00612	0.00574	0.0031	0.00421	0.0019
PISO 2	0.00712	0.00469	0.00470	0.0024	0.00320	0.0015
PISO 1	0.00341	0.00219	0.00265	0.0008	0.00185	0.0003

Según el cuadro 42, la máxima deriva en “X”, está dada por 0.00607 en el piso 4, mientras que en el eje “Y” se muestra una deriva máxima de 0.00547 en el piso 6. Adicionalmente ningún piso sobrepasa el límite de deriva permisible del RNE para edificaciones de concreto armado.

- Moyobamba 2005 :
 - Caso 1: E-O en la dirección X y N-S en la dirección Y

Cuadro 43. *Derivas por nivel con Sismo Moyobamba-Caso 1.*

DERIVAS	ESPECTRO R=1		EJE X	DIF.	EJE Y	DIF.
	XX	YY				
PISO 8	0.00720	0.00688	0.00207	0.0051	0.00816	-0.0013
PISO 7	0.00788	0.00721	0.00200	0.0059	0.00841	-0.0012
PISO 6	0.00873	0.00741	0.00222	0.0065	0.00856	-0.0011
PISO 5	0.00932	0.00738	0.00240	0.0069	0.00844	-0.0011
PISO 4	0.00942	0.00698	0.00248	0.0069	0.00794	-0.0010
PISO 3	0.00879	0.00612	0.00236	0.0064	0.00693	-0.0008
PISO 2	0.00712	0.00469	0.00195	0.0052	0.00536	-0.0007
PISO 1	0.00341	0.00219	0.00112	0.0023	0.00310	-0.0009

Según el cuadro 43, la máxima deriva en la dirección “X”, está dada por 0.00248 en el piso 4, mientras que en el eje “Y” se muestra una deriva máxima de 0.00856 en el piso 6. Adicionalmente se muestra que 5 pisos sobrepasan el límite de deriva permisible que norma el RNE para edificaciones de concreto armado.

- Caso 2: N-S en la dirección X y E-O en la dirección Y

Cuadro 44. *Derivas por nivel con Sismo Moyobamba-Caso 2.*

DERIVAS	ESPECTRO R=1		EJE X	DIF.	EJE Y	DIF.
	XX	YY				
PISO 8	0.00720	0.00688	0.06064	-0.0534	0.00796	-0.0011
PISO 7	0.00788	0.00721	0.05300	-0.0451	0.00679	0.0004
PISO 6	0.00873	0.00741	0.04433	-0.0356	0.00556	0.0019
PISO 5	0.00932	0.00738	0.03517	-0.0259	0.00432	0.0031
PISO 4	0.00942	0.00698	0.02580	-0.0164	0.00312	0.0039
PISO 3	0.00879	0.00612	0.01674	-0.0080	0.00202	0.0041
PISO 2	0.00712	0.00469	0.00873	-0.0016	0.00108	0.0036
PISO 1	0.00341	0.00219	0.00271	0.0007	0.00037	0.0018

Según el cuadro 44, la máxima deriva en la dirección X está dada por 0.00606 en el piso 8, mientras que en el eje Y se muestra una deriva máxima de 0.00796 en el piso 8. Adicionalmente se muestra que 1 piso sobrepasa el límite de deriva máxima.

Como se pudo observar en los cuadros anteriores, el sismo con la mayor cantidad de derivas que superan el límite máximo (0.007) es el caso 1 del sismo de Ica, el cual considera la dirección E-O en el sentido “X” y la dirección N-S en el sentido “Y”, por ende, es la más desfavorable y será usada como sismo de diseño.

3.3.9 Análisis de la estructura con Disipadores Taylor.

3.3.9.1 Generalidades

Para determinar las características que tendrán los disipadores (rigidez del brazo metálico, coeficiente de amortiguamiento y coeficiente de velocidad del disipador), se debe determinar ciertos parámetros que aplicados en la ecuación 10, se obtiene las fuerzas axiales a la que estará sometido el dispositivo de disipación de energía. El sistema de disipación de energía constará de elemento metálico del tipo HSS adosado al disipador Taylor mediante tornillos de montaje instalados de manera diagonal como lo muestra la figura 63.

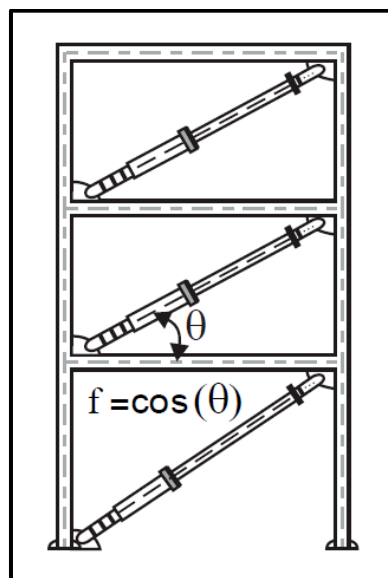


Figura 63. Disposición del sistema de disipación de energía Taylor

Adicionalmente cabe recalcar que se dispuso 4 disipadores por nivel, dos en cada sentido, ubicados de manera estratégica con el objetivo de disipar la mayor energía posible. La figura 64 muestra la ubicación del sistema de disipadores Taylor en una vista 3D mientras que la figura 65 y 66 lo muestra en una vista en planta.

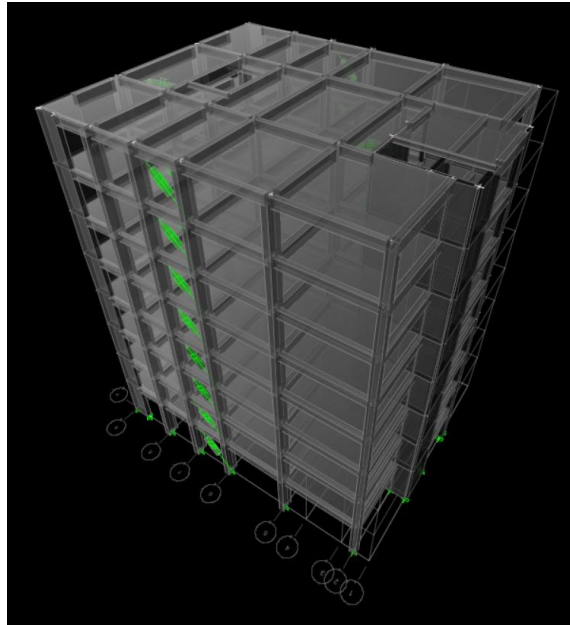


Figura 64. Modelamiento edificación multifamiliar con Taylor, vista 3D.

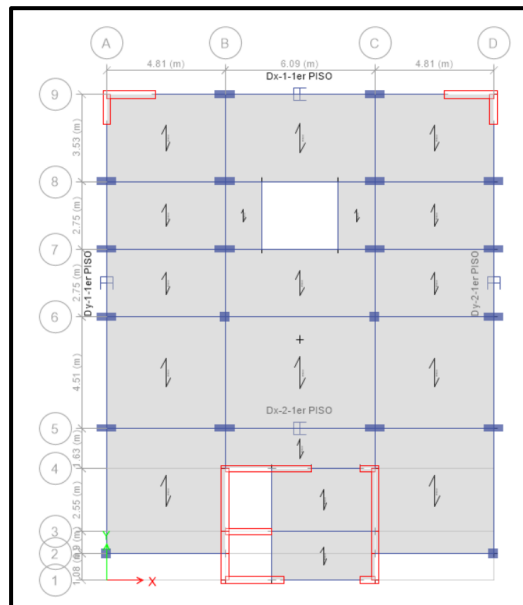
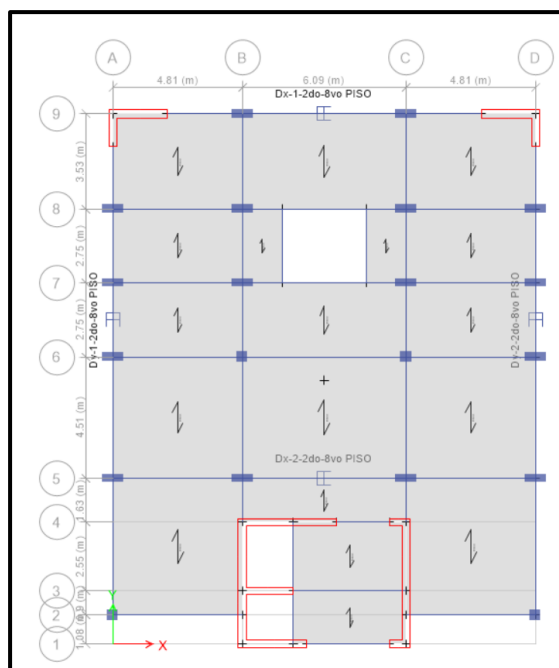


Figura 65. Modelamiento edificación multifamiliar con Taylor, vista en planta 1er piso.



Como se puede observar en las figuras 64, 65 y 66, los disipadores Taylor se colocaron en los siguientes ejes:

- Eje A, entre eje 7 y 8 (DY-1 1er Piso y DY-1 2do-8vo Piso)
- Eje D, entre eje 7 y 8 (DY-2 1er Piso y DY-2 2do-8vo Piso)
- Eje 5, entre eje B y C (DX-2 1er Piso y DX-2 2do-8vo Piso)
- Eje 9, entre eje B y C (DX-1 1er Piso y DX-1 2do-8vo Piso)

3.3.9.2 Determinación de la distorsión objetivo

Para obtener un mejor resultado basado en el desempeño de la estructura se usará la metodología Hazus para el cálculo de la distorsión objetivo, la cual nos brinda una tabla de distorsiones limites, dependiendo del tipo de estructura y del nivel de diseño, expuestas en el anexo 3.

La norma E.030 (2018) menciona que los factores de zona se interpretan como la aceleración máxima en un suelo rígido con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años, es por ello que según el cuadro 4, dicha norma exige que las edificaciones sean diseñadas considerando un sismo raro.

Adecuándonos al cuadro 5, y considerando que nuestra edificación es de categoría C (color amarillo), se obtiene que el nivel de desempeño sísmico de la edificación cubrirá la seguridad de los ocupantes; es decir, según el cuadro 6, nuestra edificación deberá presentar un estado de daño moderado.

De acuerdo al cuadro 7, y teniendo en cuenta el sistema estructural y número de pisos de nuestra edificación, Hazus lo define con el código C1H.

Finalmente, se determinó la distorsión angular límite de entrepiso según el cuadro del anexo 3, donde se obtiene un valor de 0.005 para un nivel de diseño alto.

3.3.9.3 Cálculo del factor de reducción:

Este se obtiene como un cociente entre la deriva máxima y la deriva objetivo, como lo muestra la fórmula 15.

El valor de la deriva máxima es el valor obtenido mediante el análisis tiempo-historia teniendo en cuenta el sismo de diseño seleccionado. Este análisis se realizará en el eje de las abscisas y las ordenadas.

$$B_{xx} = \frac{0.00966}{0.005} = 1.932$$

$$B_{yy} = \frac{0.00759}{0.005} = 1.518$$

3.3.9.4 Cálculo del amortiguamiento efectivo (β_{eff}):

Para determinar este parámetro se deberá despejar la ecuación 32:

$$\beta = \frac{2.31 - 0.41 \ln(\beta_0)}{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{eff})} \quad (32)$$

donde el valor de β_0 es el amortiguamiento inherente de la estructura, que para edificaciones de concreto armado se considera 5% según lo indica la E.030.

Entonces, considerando lo anterior y reemplazando los valores del factor de reducción en X y en Y en la ecuación 32, se obtiene:

$$\beta_{eff\ X} = 34.85\%$$

$$\beta_{eff\ Y} = 19.75\%$$

3.3.9.5 Cálculo del amortiguamiento viscoso (β_H):

El amortiguamiento viscoso se define mediante la expresión 33.

$$\beta_H = \beta_{eff} - \beta_0 \quad (33)$$

Reemplazando se obtuvo:

$$\beta_{H,xx} = 34.85\% - 5\% = 29.85\%$$

$$\beta_{H,yy} = 19.75\% - 5\% = 14.75\%$$

Sin embargo, Villarreal Castro, G. y Díaz La Rosa Sánchez, M. (2016), recomiendan que el valor del amortiguamiento viscoso debe estar entre 20% y 40% debido a que, si es menor a dicho rango, el sistema no será considerable y si es mayor no está permitido para fines de diseño. En este sentido, se propuso considerar un amortiguamiento viscoso de 25% en ambos sentidos.

3.3.9.6 Cálculo de la rigidez

El diseño de los elementos metálicos que componen el sistema es de relevancia debido a que aportan rigidez y son pieza clave en el funcionamiento frente a cargas sísmicas. el dissipador se dispondrá de manera diagonal unido a un perfil metálico tubular del tipo HSS de dimensiones 7.50" x 0.50" la cual cuenta con propiedades físicas mostradas en el cuadro 45.

Cuadro 45. *Propiedades del brazo metálico HSS 7.50"x0.50"*

Dimensiones HSS 7.50" x 0.50"				
D. ext. (in)	D. int. (in)	Espesor (in)	Área (in ²)	Inercia (in ⁴)
7.5	7.035	0.465	10.3	63.9

Fuente: extraído de libro "Edificaciones con dissipadores viscosos"

Para determinar la rigidez del sistema se usará la fórmula 18, donde se reemplazó con los siguientes datos:

- $E_{acero} = 20.4 \times 10^6 \text{ T/m}^2$
- $\text{Área} = 10.3 \text{ in}^2 = 66.45 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
- $L =$ Es la longitud del brazo metálico

Cuadro 46. *Cálculo de la rigidez del brazo metálico por disipador Taylor.*

Características	1er PISO				2do – 8vo PISO			
	DX-1	DX-2	DY-1	DY-2	DX-1	DX-2	DY-1	DY-2
Ancho de Vano [m]	4.78	4.78	4.78	4.78	2.45	2.45	2.45	2.45
Alto de Vano [m]	3.35	3.35	2.85	2.85	3.35	3.35	2.85	2.85
Longitud Diagonal [m]	5.84	5.84	5.57	5.57	4.15	4.15	3.76	3.76
Long. De disipador [m]	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016
Long, de brazo metálico [m]	4.82	4.82	4.55	4.55	3.13	3.13	2.74	2.74
Rigidez [T/m ²]	28118.07	28118.07	29798.53	29798.53	43249.83	43249.83	49431.79	49431.79

La última fila del cuadro 46 indica las rigideces de los brazos metálicos en cada eje y en cada nivel. Como se observa, el primer nivel difiere de los otros, debido a que su altura considera el desplante de la cimentación (1.5 m.), por lo que su rigidez será menor.

3.3.9.7 Cálculo del coeficiente de amortiguamiento

El Coeficiente de amortiguamiento se determinó por cada disipador, teniendo en cuenta que los disipadores no trabajaran de la misma manera en las ubicaciones colocadas previamente. Para ello, Villarreal Castro, G. y La Rosa Sánchez, M. (2016) consideran la ecuación 12 para el cálculo de dicho coeficiente.

Con ayuda del cuadro 2, se obtuvo el parámetro lambda, llegando a un valor de 3.50 para un exponente de velocidad de 0.5; así mismo el Angulo de inclinación de los disipadores se presenta en el cuadro 47.

Cuadro 47. *Ángulos de inclinación por disipador Taylor.*

1er PISO				2do - 8vo PISO			
DX-1	DX-2	DY-1	DY-2	DX-1	DX-2	DY-1	DY-2
50.31°	50.31°	45.71°	45.71°	53.82°	53.82°	49.32°	49.32°

Adicionalmente, los cuadros 48 y 49 detallan los desplazamientos relativos entre ambos extremos del disipador y sus diferencias analizados por el sismo de diseño.

Cuadro 48. *Desplazamientos relativos Φ_{rj} en la dirección X*

Desplazamiento en X	i	i+1	diferencia
BASE		0.01120	0.01120
PISO 1	0.01120	0.03145	0.02025
PISO 2	0.03145	0.05678	0.02533
PISO 3	0.05678	0.08431	0.02753
PISO 4	0.08431	0.11184	0.02752
PISO 5	0.11184	0.13787	0.02603
PISO 6	0.13787	0.16172	0.02385
PISO 7	0.16172	0.18316	0.02145
PISO 8	0.18316		

Cuadro 49. *Desplazamientos relativos Φ_{rj} en la dirección Y.*

Desplazamiento en Y	i	i+1	diferencia
BASE		0.00732	0.00732
PISO 1	0.00732	0.02003	0.01272
PISO 2	0.02003	0.03671	0.01667
PISO 3	0.03671	0.05613	0.01942
PISO 4	0.05613	0.07714	0.02101
PISO 5	0.07714	0.09877	0.02163
PISO 6	0.09877	0.12027	0.02150
PISO 7	0.12027	0.14110	0.02083
PISO 8	0.14110		

Además, la amplitud que presenta la estructura está dada por 0.033 en la dirección X, y 0.034 en la dirección Y. La frecuencia angular se obtuvo despejando la ecuación 16. Sabiendo que el periodo fundamental de la estructura es 0.645 seg., se calculó un valor ω de 9.74 rad/seg.

El cuadro 50 y 51 detalla los cálculos que se realizaron para determinar el coeficiente de amortiguamiento de cada disipador en cada dirección de análisis.

Cuadro 50. Cálculos realizados para obtener el coeficiente de amortiguamiento en eje X.

NIVEL	Masa (T)	$\cos \theta_j$	$\cos^{1+\alpha} \theta_j \times \Phi_{rj}^{1+\alpha}$	$m_i \Phi_i^2$
1	32.7758	0.6386	0.000605	0.0041
2	32.0713	0.6982	0.001681	0.0317
3	32.0713	0.6982	0.002352	0.1034
4	32.0713	0.6982	0.002665	0.2280
5	32.0713	0.6982	0.002664	0.4011
6	32.0713	0.6982	0.002451	0.6096
7	32.0713	0.6982	0.002148	0.8387
8	27.3494	0.6982	0.001832	0.9175
		Σ	0.016398	3.1342

Cuadro 51. Cálculos realizados para obtener el coeficiente de amortiguamiento en eje Y.

NIVEL	Masa (T)	$\cos \theta_j$	$\cos^{1+\alpha} \theta_j \times \Phi_{rj}^{1+\alpha}$	$m_i \Phi_i^2$
1	32.7758	0.59032	0.000284	0.0018
2	32.0713	0.6518	0.000755	0.0129
3	32.0713	0.6518	0.001133	0.0432
4	32.0713	0.6518	0.001424	0.1010
5	32.0713	0.6518	0.001602	0.19084
6	32.0713	0.6518	0.001674	0.3129
7	32.0713	0.6518	0.001659	0.4639
8	27.3494	0.6518	0.001582	0.5445
		Σ	0.010113	1.6710

Finalmente se obtuvo la sumatoria de los coeficientes de amortiguamiento en cada sentido, siendo 473.53 en el eje X y 415.51 en el eje Y, los cuales fueron distribuidos como se detalla en el cuadro 52.

Cuadro 52. Propiedades de cada disipador Taylor.

PROPIEDADES	1er PISO			
	DX-1	DX-2	DY-1	DY-2
Coefficiente de amortiguamiento (C) [Tn*s/m]	200	300	150	300
Rigidez (K) [Tn/m2]	28118.067	28118.067	43249.832	43249.832
Exponente α	0.5	0.5	0.5	0.5
PROPIEDADES	2do - 8vo PISO			
	DX-1	DX-2	DY-1	DY-2
Coefficiente de amortiguamiento (C) [Tn*s/m]	200	300	150	300
Rigidez (K) [Tn/m2]	29798.531	29798.531	49431.794	49431.794
Exponente α	0.5	0.5	0.5	0.5

3.3.9.8 Resultado del análisis con disipadores Taylor:

A. Control de derivas

El cuadro 53 muestra las derivas obtenidas sometiendo a la estructura a cargas sísmicas con aceleraciones máximas del Caso 1 del sismo de Ica (sismo de diseño), en donde se deduce que todos los pisos llegan a estar por debajo de la distorsión límite (0.007).

Cuadro 53. *Derivas de entrepiso con disipadores Taylor.*

PISOS	CASO DE CARGA	DERIVA EN X	CONTROL DE DESPLAZAMIENTO	DERIVA EN Y	CONTROL DE DESPLAZAMIENTO
PISO 8	CASO 1- ICA	0.00459	CUMPLE	0.00646	CUMPLE
PISO 7	CASO 1- ICA	0.00526	CUMPLE	0.00666	CUMPLE
PISO 6	CASO 1- ICA	0.00587	CUMPLE	0.00675	CUMPLE
PISO 5	CASO 1- ICA	0.00636	CUMPLE	0.00660	CUMPLE
PISO 4	CASO 1- ICA	0.00649	CUMPLE	0.00614	CUMPLE
PISO 3	CASO 1- ICA	0.00608	CUMPLE	0.00530	CUMPLE
PISO 2	CASO 1- ICA	0.00496	CUMPLE	0.00405	CUMPLE
PISO 1	CASO 1- ICA	0.00237	CUMPLE	0.00198	CUMPLE

B. Control torsional:

El cuadro 54 expone los resultados de la comprobación del control de giro en planta, siendo los valores en todos los pisos menores a 1.2 por lo que se considera que no existe irregularidad torsional.

Cuadro 54. *Control de giro en planta con disipadores Taylor*

PISOS	COMPROBACIÓN		IRREGULARIDAD	
	XX	YY	XX	YY
PISO 1	1.029	1.084	OK	OK
PISO 2	1.014	1.111	OK	OK
PISO 3	0.996	1.116	OK	OK
PISO 4	1.017	1.115	OK	OK
PISO 5	1.055	1.112	OK	OK
PISO 6	1.079	1.107	OK	OK
PISO 7	1.108	1.104	OK	OK
PISO 8	1.151	1.099	OK	OK

C. Modos de vibración:

Los modos de vibración de la estructura incluyendo el sistema de disipación de energía Taylor lo muestra el cuadro 55, donde deduce que el periodo fundamental de la estructura está dado por 0.633 seg. con una masa participativa en la dirección X de 62.55% (traslacional).

Cuadro 55. *Modos de vibración con disipadores Taylor*

Modos	Periodo	UX	UY	RZ
	seg.			
1	0.633	0.6255	0.0490	0.0599
2	0.562	0.1011	0.4366	0.1720
3	0.503	0.0057	0.2177	0.4929

D. Balance Energético:

De la figura 67 y cuadro 56 se aprecia que la mayor energía es asumida por los disipadores; en este contexto se puede indicar que la energía absorbida por el disipador de fluido viscoso Taylor corresponde al 63.79% de la energía de entrada mientras que el amortiguamiento inherente de la estructura se encarga de absorber un 36.21%. Adicionalmente se observa que la energía potencial y cinética tienen un efecto importante en el rango de 3 a 30 segundos.

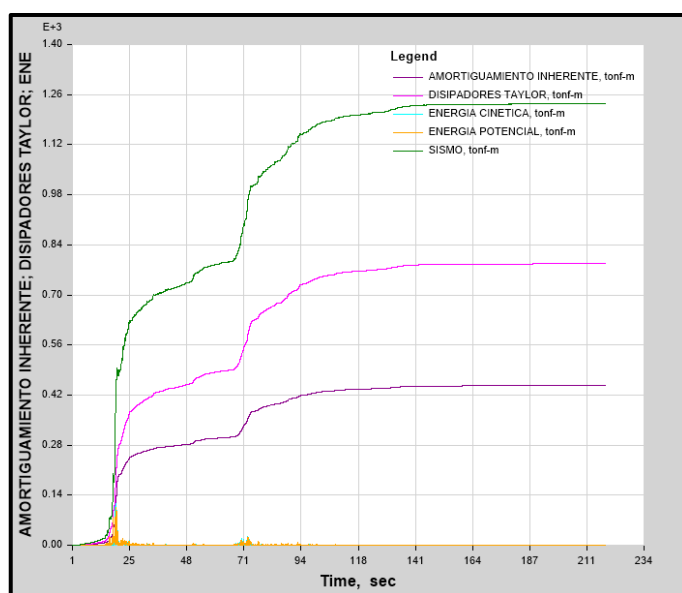


Figura 67. Balance energético usando disipadores Taylor.

Cuadro 56. *Energía disipada por tipo usando disipadores Taylor.*

TIPO	ENERGÍA [Tn.m]
Sismo	1230.1068
Potencial	106.6765
Cinética	116.6332
Disipador Taylor	784.6253
Amortiguamiento Inherente	445.4573

E. Comportamiento histerético de los disipadores Taylor:

Al analizar cada disipador usando las cargas sísmicas de diseño, se obtiene esfuerzos en cada uno de ellos formando sus propios lazos histeréticos que relacionan la fuerza axial que experimenta el dispositivo versus la deformación axial que corresponde. Con este grafico se puede determinar si el disipador Taylor está trabajando de manera eficiente, acercándose al lazo histerético base que corresponde a los sistemas de disipación de energía que dependen del desplazamiento y la velocidad, como lo muestra la figura 12.

La figura 68 grafica la curva de histéresis del disipador K4, que para nuestro caso se encuentra ubicado en la parte posterior del 1er piso, donde se aprecia que la máxima fuerza axial corresponde a 53.636 Tn, siendo su desplazamiento máximo 0.023 mm. posterior a ello, se verificó que este disipador se haya diseñado para soportar esfuerzos mayores a los sometidos.

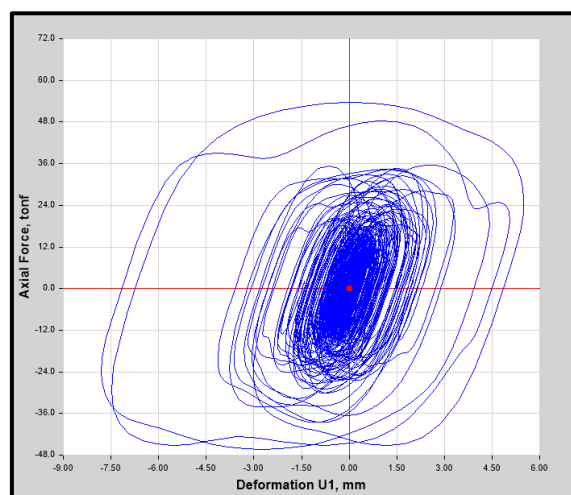


Figura 68. Lazo histerético del disipador Taylor K4.

3.3.9.9 Diseño de los disipadores Taylor

El diseño de los disipadores Taylor se hará tomando en cuenta las medidas comerciales mostradas en el anexo 12, los cuales son brindados por la empresa TAYLOR DEVICE INC., principal fabricante de estos dispositivos. la elección del tipo de disipador Taylor depende directamente de la fuerza a la que estará sometida, es decir, se eligió el que cubre los requerimientos de esfuerzos axiales. Esto se detalla en el cuadro 57 mostrado a continuación.

Cuadro 57. Elección del tipo de disipador Taylor.

PISO	DISIPADOR	FUERZA ACTUANTE	FUERZA ACTUANTE	FUERZA DE DISEÑO
		tonf	KN	KN
PISO 8	K32	81.734	180.1671	220
PISO 8	K31	102.996	227.0350	330
PISO 8	K30	54.777	120.7456	165
PISO 8	K29	111.849	246.5496	330
PISO 7	K28	85.229	187.8705	220
PISO 7	K27	109.346	241.0303	330
PISO 7	K26	55.877	123.1697	165
PISO 7	K25	113.725	250.6849	330
PISO 6	K24	87.825	193.5920	220
PISO 6	K23	114.222	251.7804	330
PISO 6	K22	55.953	123.3361	165
PISO 6	K21	114.220	251.7754	330
PISO 5	K20	88.799	195.7396	220
PISO 5	K19	117.081	258.0823	330
PISO 5	K18	54.996	121.2272	165
PISO 5	K17	112.903	248.8727	330
PISO 4	K16	87.768	193.4670	220
PISO 4	K15	117.010	257.9251	330
PISO 4	K14	52.512	115.7529	165
PISO 4	K13	109.065	240.4109	330
PISO 3	K12	83.646	184.3815	220
PISO 3	K11	113.181	249.4853	330
PISO 3	K10	48.259	106.3782	110
PISO 3	K9	101.478	223.6884	330
PISO 2	K8	73.965	163.0413	165
PISO 2	K7	101.857	224.5238	330
PISO 2	K6	42.236	93.1013	110
PISO 2	K5	88.539	195.1667	220
PISO 1	K4	53.636	118.2290	165
PISO 1	K3	74.752	164.7758	220
PISO 1	K2	32.568	71.7885	110
PISO 1	K1	61.952	136.5606	165

Como se muestra en la última columna del cuadro 57, se necesitará 13 dispositivos Taylor de 330 KN, 8 dispositivos de 220 KN, 8 dispositivos de 165 KN y 3 dispositivos de 110 KN.

3.3.9.10 Verificación de la resistencia del brazo metálico:

Para el cálculo de las propiedades de los disipadores, se consideró un perfil metálico tubular de tipo HSS de dimensiones 7.50" x 0.50" como lo estipula el cuadro 45; en este contexto, se verificó la resistencia de este elemento frente a esfuerzos a compresión y tracción.

Las características físicas y mecánicas de este elemento lo muestran el cuadro resumen 58, el cual extrae valores del anexo 13 de acuerdo a las dimensiones seleccionadas.

Cuadro 58. *Propiedades físicas del perfil metálico HSS 7.5"x0.5".*

Designación D x t		t diseño	Peso	Área	Pandeo local	Inercia	r
mm x mm	in x in	in	lb/ft	in ²	b/t	in ⁴	in
190x12.7	7.5x0.50	0.465	37.42	10.3	16.1	63.9	2.49

Fuente: Adaptada de "Tablas de dimensiones y propiedades geométricas de perfiles de acero estructural"

Así mismo se presentan las características del material:

- Módulo de elasticidad del acero (Eac): 29000 KSI
- Esfuerzo de fluencia Acero A36 (Fy): 36 KSI
- Resistencia en tensión (Fu): 60 KSI

El método utilizado para este análisis será el dispuesto en la norma E.070 "Estructuras Metálicas" del RNE, Load and Resistance Factor Design (LRFD), traducido al español como Diseño por Factor de Carga y Resistencia.

A. Resistencia de diseño en compresión para pandeo por flexión:

La sección de acero considerado para el brazo metálico se clasifica como elemento no rigidizado, porque soporta en un solo borde la

dirección de la fuerza en compresión, y como no compacto, debido a que son tubulares. En este sentido, el elemento en cuestión deberá cumplir con la condición 34.

$$\frac{b}{t} < \frac{200}{\sqrt{F_y}} \quad (34)$$

dónde:

- b = ancho
- t = espesor
- F_y = Esfuerzo de fluencia del acero

De donde, reemplazando con los valores correspondientes se obtuvo:

$$\frac{7.5}{0.465} < \frac{200}{\sqrt{36}}$$

$$16.13 < 33.33$$

Entonces se determina que satisface esa condición, por ende la resistencia de diseño está dado por $\phi_c P_n$, y cumplir la condición siguiente:

$$\phi_c P_n > P_u \quad (35)$$

dónde:

- $\phi_c = 0.85$
- $P_n = A_g F_{cr}$
- $P_u = \text{Fuerza Actuante}$

de dónde:

- Para $\lambda_c \leq 1.5$:

$$F_{cr} = (0.658^{\lambda_c^2}) F_y \quad (36)$$

- Para $\lambda_c > 1.5$:

$$F_{cr} = \left(\frac{0.877}{\lambda_c^2} \right) F_y \quad (37)$$

A su vez, dónde:

$$\lambda_c = \frac{Kl}{r\pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}} \quad (38)$$

- A_g : área total del miembro
- E : módulo de Elasticidad
- K : factor de longitud efectiva (Para pórticos arriostrados donde la estabilidad lateral está dada por diagonales, $K=1$)
- l : longitud lateral
- r : radio de giro respecto del eje de pandeo

Entonces, reemplazando con la longitud de brazo metálico más desfavorable ($4.82\text{m} = 189.76''$) en la ecuación 38, se obtuvo:

$$\lambda_c = \frac{1 \times 189.76}{2.49 \times \pi} \sqrt{\frac{36}{29000}}$$

$$\lambda_c = 0.86$$

Se deduce que, para determinar el esfuerzo critico (F_r) se usará la ecuación 36. Reemplazando se obtuvo:

$$F_{cr} = (0.658^{0.86^2}) \times 36$$

$$F_{cr} = 26.42 \text{ KSI}$$

Analizando el dissipador K32, el cual presenta una fuerza actuante de 81.73 Tn, y sustituyendo en la ecuación 35:

$$\phi_c A_g F_{cr} > P_u$$

$$0.85 \times 10.3 \times 26.42 > 81.73 \text{ Tn}$$

$$231.31 \text{ Kips} > 81.73 \text{ Tn}$$

$$104.92 \text{ Tn} > 81.73 \text{ Tn} \quad \dots\dots\dots \text{Ok}$$

Por lo cual, se determinó que las dimensiones del brazo metálico son las correctas para soportar los esfuerzos a compresión que presentará el disipador.

B. Resistencia de diseño en tracción:

La resistencia de diseño en tracción debe obedecer a la condición:

$$\phi_t P_n > P_u \quad (39)$$

Siendo:

- $\phi_t = 0.90$
- $P_n = F_y A_g$
- $P_u = \text{Fuerza Actuante}$

Reemplazando con los datos correspondientes, obtuvimos:

$$\phi_t F_y A_g > P_u$$

$$0.9 \times 36 \times 10.3 > 81.73 \text{ Tn}$$

$$333.72 \text{ Kips} > 81.73 \text{ Tn}$$

$$151.37 \text{ Kips} > 81.73 \text{ Tn}$$

Por lo tanto, se determinó que las dimensiones del brazo metálico son las correctas para soportar los esfuerzos a tracción que presentará el disipador.

Por otro lado, las planchas o placas de conexión, sirven como enlace entre el disipador y el brazo metálico. Las dimensiones de este elemento están tabuladas en el anexo 13 y son dependientes de la fuerza a la que estará sometida.

3.3.10 Análisis de la estructura con disipadores Shear Link Bozzo (SLB).

3.3.10.1 Generalidades

Según Gaxiola, G., Helbert, G. y Bozzo, L. (2016), los dispositivos de protección sísmica buscan unificar los campos de control moderno y el diseño clásico de estructuras de concreto armado. Particularmente, el objeto

de incorporar dispositivos SLB radica en adicionar conexiones no lineales que concentren las demandas de ductilidad frente a cargas sísmicas, es decir, este disipador funciona como una rotula plástica que el diseñador puede darle las propiedades y ubicaciones según su criterio y necesidad. En este contexto, los disipadores SLB aumentan la rigidez del sistema por ende disminuye los desplazamientos laterales, llegando a una respuesta estructural favorable frente a movimientos telúricos.

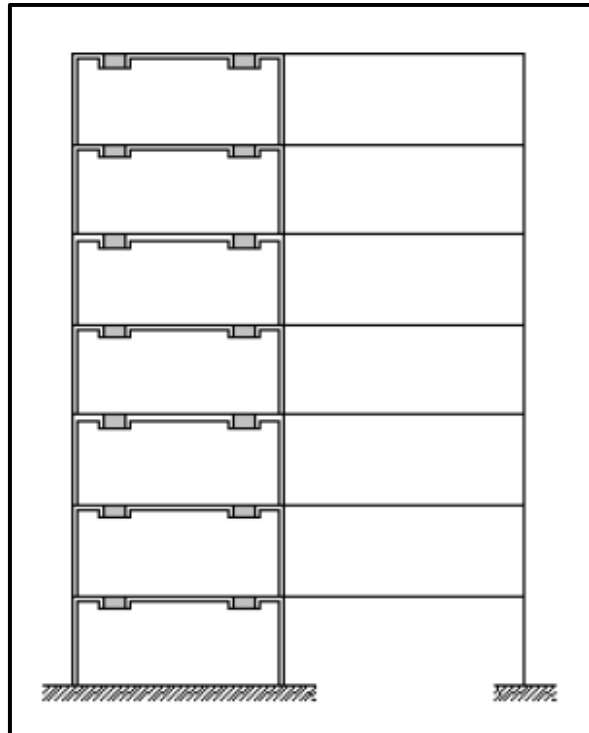


Figura 69. Disposición del sistema de disipación de energía SLB, mediante muros desacoplados.

Para la edificación multifamiliar presentada, se dispusieron estos disipadores mediante muros desacoplados como lo indica la figura 69; así mismo cabe resaltar que esta disposición permite colocarlos de manera alternada por nivel, debido a que no transfieren carga axial a la edificación. Adicionalmente se detalla que se colocaron 12 dispositivos SLB por nivel sobre 6 muros desacoplados, es decir, se dispuso 2 disipadores por muro, una en cada esquina. La figura 70 muestra la distribución de estos elementos en un vista 3D, mientras que la figura 71 lo indica en una vista en planta.

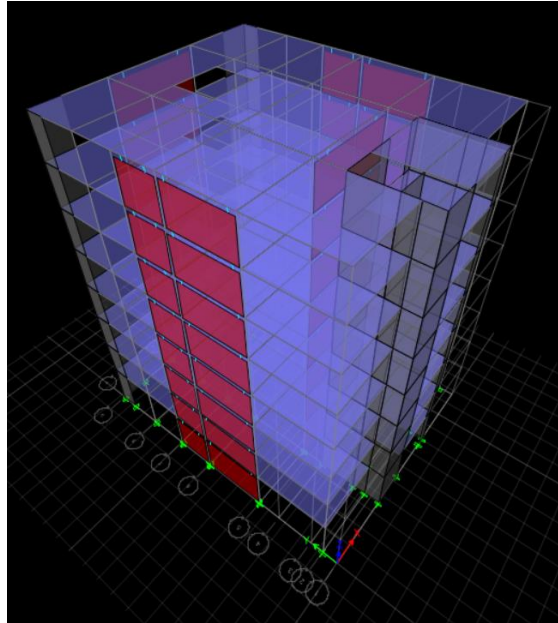


Figura 70. Modelamiento edificación multifamiliar con SLB, vista 3D.

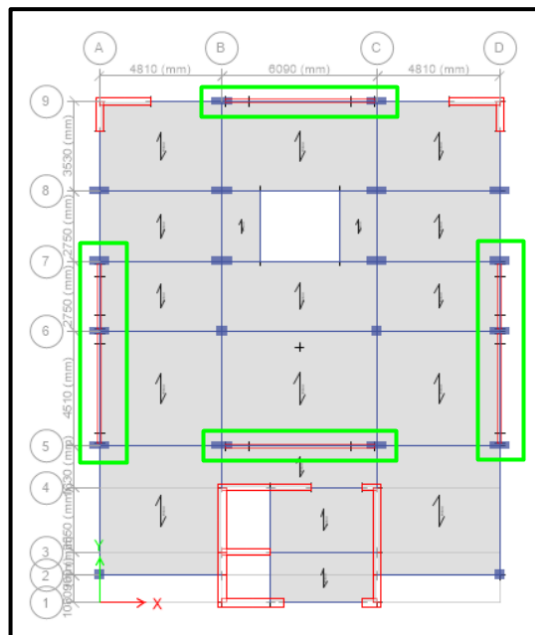


Figura 71. Modelamiento edificación multifamiliar con SLB, vista en planta.

como se observa en las figuras 70 y 71, los disipadores Shear Link Bozzo se encuentran ubicados en los siguientes ejes:

- Eje A, entre 5 y 6

- Eje A, entre 6 y 7
- Eje D, entre 5 y 6
- Eje D, entre 6 y 7
- Eje 5, entre B y C
- Eje 9, entre B y C

3.3.10.2 Predimensionamiento de los disipadores SLB

El principal proveedor de estos dispositivos es la marca POSTENSA SAC, quien, en sus numerosas guías de diseño, recomiendan realizar un predimensionamiento considerando un elemento tipo “frame” rectangulares de dimensiones 30cm x 2cm con el fin de obtener la cortante inicial para un pre diseño. Considerando lo anteriormente descrito, se usó un elemento de acero tipo tubular cuadrado de dimensiones antes indicadas, para posteriormente analizarla en la dirección X y Y. Luego de analizarlo dinámicamente, obtenemos las fuerzas cortantes en los elementos de acero tubular tipo “frame”, como lo muestran las figuras 72 y 73.

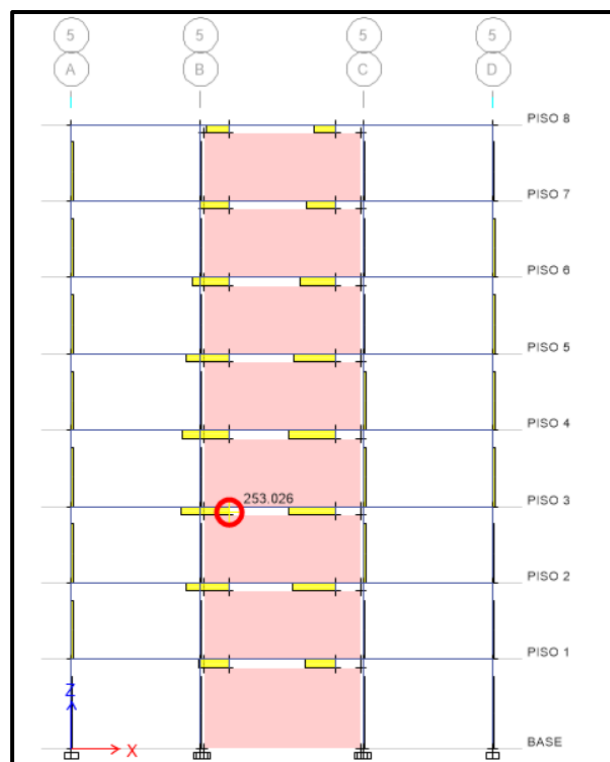


Figura 72. Predimensionamiento de los disipadores SLB en el eje X.

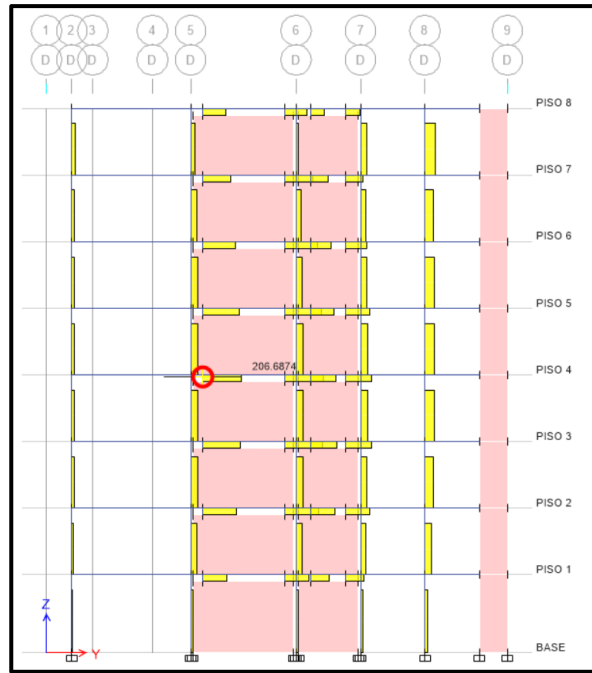


Figura 73. Predimensionamiento de los disipadores SLB en el eje Y.

Como se observa en la figura 72, el máximo valor obtenido es de 253.026 KN en el piso 4, por lo cual, según la tabla indicada en el anexo 2, le corresponde un disipador de tipo SLB2 20_2, el cual soporta esfuerzos de fluencia hasta 268.00 KN. Por su parte, la figura 73, muestra que el valor máximo del cortante en el elemento es de 206.69 KN, por lo que, según la tabla del anexo 2, le corresponde un disipador con las características de tipo SLB2 15_3, el cual soporta esfuerzos de fluencia hasta 208.00 KN. Sin embargo, por un tema académico y para tener un factor de seguridad, se decidió uniformizar los tipos de disipadores en ambos sentidos colocándolo disipadores SLB2 30_2 que llegan a un esfuerzo de fluencia de 339.00 KN. El cuadro 59 detalla las características que le corresponde al disipador seleccionado según la tabla del anexo 2.

Cuadro 59. Propiedades del disipador de tipo SLB2 30_2.

PROPIEDADES DEL DISIPADOR DE TIPO SLB2 30_2				
Rigidez Inicial (K1)	Esfuerzo de Fluencia (Fy)	Rigidez Post-fluencia (K2)	Relación de Rigideces (K1/K2)	Exponente de fluencia
3760 KN/cm	339 KN	75.2 KN/cm	0.02	1

3.3.10.3 Resultados del análisis con los disipadores SLB

A. Control de derivas

El cuadro 60 muestra las derivas obtenidas sometiendo a la estructura a cargas sísmicas con aceleraciones máximas del Caso 1 del sismo de Ica (sismo de diseño), en donde se deduce que todos los pisos llegan a estar por debajo de la distorsión límite (0.007).

Cuadro 60. *Derivas de entrepiso con disipadores SLB.*

PISOS	CASO DE CARGA	DERIVA EN X	CONTROL DE DESPLAZAMIENTO	DERIVA EN Y	CONTROL DE DESPLAZAMIENTO
PISO 8	CASO 1- ICA	0.00383	CUMPLE	0.00534	CUMPLE
PISO 7	CASO 1- ICA	0.00443	CUMPLE	0.00560	CUMPLE
PISO 6	CASO 1- ICA	0.00512	CUMPLE	0.00577	CUMPLE
PISO 5	CASO 1- ICA	0.00574	CUMPLE	0.00562	CUMPLE
PISO 4	CASO 1- ICA	0.00610	CUMPLE	0.00542	CUMPLE
PISO 3	CASO 1- ICA	0.00596	CUMPLE	0.00493	CUMPLE
PISO 2	CASO 1- ICA	0.00510	CUMPLE	0.00407	CUMPLE
PISO 1	CASO 1- ICA	0.00260	CUMPLE	0.00225	CUMPLE

B. Control torsional

El cuadro 61 expone los resultados de la comprobación del control de giro en planta, siendo los valores en todos los pisos menores a 1.2 por lo que se considera que no existe irregularidad torsional.

Cuadro 61. *Control de giro en planta con disipadores SLB.*

PISOS	COMPROBACIÓN		IRREGULARIDAD	
	XX	YY	XX	YY
PISO 1	1.046	1.065	OK	OK
PISO 2	1.014	1.096	OK	OK
PISO 3	0.993	1.103	OK	OK
PISO 4	0.974	1.107	OK	OK
PISO 5	1.057	1.118	OK	OK
PISO 6	1.088	1.145	OK	OK
PISO 7	1.126	1.157	OK	OK
PISO 8	1.162	1.159	OK	OK

C. Modos de vibración:

Los modos de vibración de la estructura incorporando el sistema de disipación de energía SLB lo muestra el cuadro 62, donde se observa que el periodo

fundamental de la estructura está dado por 0.489 seg. con una masa participativa en la dirección X de 74.89% (traslacional).

Cuadro 62. *Modos de vibración con disipadores Taylor*

Modos	Periodo	UX	UY	RZ
	seg.			
1	0.489	0.7489	0.0017	0.0067
2	0.440	0.0012	0.7325	0.0037
3	0.151	0.0158	0.0046	0.8008

D. Balance energético:

En la figura 74 y el cuadro 63 se aprecia que la mayor energía es absorbida por el amortiguamiento inherente de la propia estructura, luego sigue la energía asumida por los disipadores SLB que se traduce en un 34.45% de la energía de entrada. Adicionalmente se observa que la energía potencial y cinética alcanzar un efecto importante en el rango de tiempo de 0 a 30 segundos.

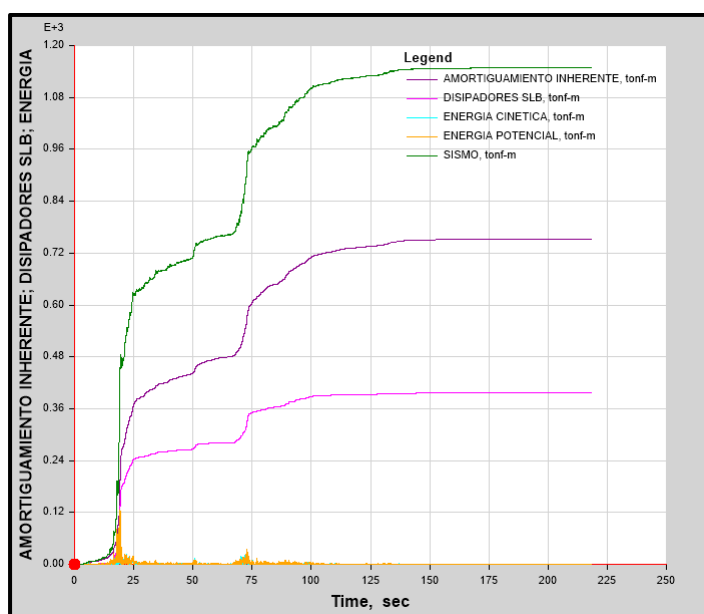


Figura 74. Balance energético usando disipadores SLB.

Cuadro 63. *Energía disipada por tipo usando disipadores SLB.*

TIPO	ENERGÍA [Tn.m]
Sismo	1149.0767
Potencial	125.2161
Cinética	123.4177
Disipador SLB	395.8942
Amortiguamiento Inherente	753.1601

E. Comportamiento hysterético de los disipadores SLB:

Al someterlo al disipador frente a cargas sísmicas cíclicas, se obtiene sus lazos hysteréticos los cuales relacionan los esfuerzos actuantes versus las deformaciones axiales. Con este grafico se determina si el disipador SLB está trabajando de manera eficiente, de acuerdo a los cálculos previstos, acercándose a la curva de histéresis base que les corresponde a los sistemas de disipación de energía por plastificación que dependen del desplazamiento como lo indica la figura 11.

La figura 75 grafica la curva de histéresis del disipador K30 el cual arroja el valor máximo, ubicado en la parte posterior del cuarto piso, donde se aprecia que la fuerza cortante corresponde a 440.00 KN con una deformación de 14.33 mm. posterior a ello se verificó que este disipador se haya diseñado para soportar esfuerzos mayores a los actuantes.

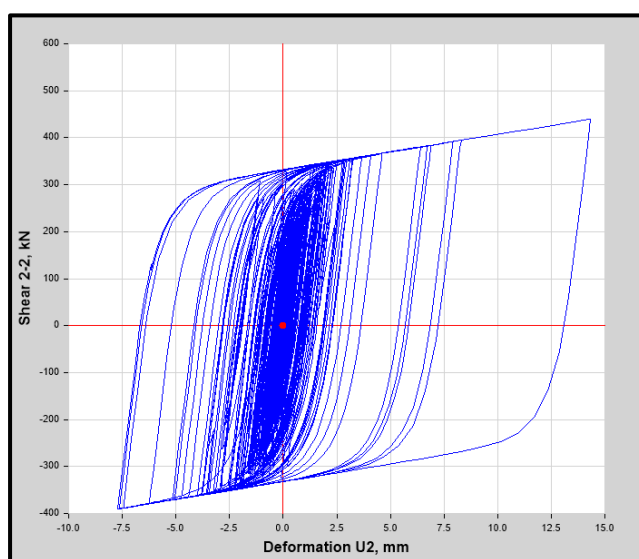


Figura 75. Lazo hysterético del disipador SLB K30.

3.3.10.4 Diseño de los disipadores SLB

Para el diseño de los disipadores SLB se ha tomado en cuenta las medidas comerciales mostradas en el anexo 2, las cuales son brindadas por la empresa POSTENSA SAC, principal fabricante de estos dispositivos. la elección del tipo de disipador SLB depende directamente de la fuerza a la que estará sometida, es decir, se eligió el que cubre los requerimientos de esfuerzos. Esto se detalla en el cuadro 64 mostrado a continuación.

Cuadro 64.*Elección del tipo de disipador SLB.*

PISO	DISIPADOR	CORTANTE ACTUANTE	CORTANTE DE DISEÑO	TIPO DE SLB
		kN	kN	
PISO 8	K96	339.530	376.00	SLB2 30_3
PISO 8	K95	339.600	376.00	SLB2 30_3
PISO 8	K94	382.871	435.00	SLB2 30_4
PISO 8	K93	389.469	435.00	SLB2 30_4
PISO 8	K92	389.474	435.00	SLB2 30_4
PISO 8	K91	378.349	435.00	SLB2 30_4
PISO 8	K90	378.357	435.00	SLB2 30_4
PISO 8	K89	378.062	435.00	SLB2 30_4
PISO 8	K88	378.062	435.00	SLB2 30_4
PISO 8	K87	382.894	435.00	SLB2 30_4
PISO 8	K86	405.925	435.00	SLB2 30_4
PISO 8	K85	405.887	435.00	SLB2 30_4
PISO 7	K84	352.297	376.00	SLB2 30_3
PISO 7	K83	352.325	376.00	SLB2 30_3
PISO 7	K82	399.001	435.00	SLB2 30_4
PISO 7	K81	398.998	435.00	SLB2 30_4
PISO 7	K80	390.857	435.00	SLB2 30_4
PISO 7	K79	390.865	435.00	SLB2 30_4
PISO 7	K78	391.620	435.00	SLB2 30_4
PISO 7	K77	391.620	435.00	SLB2 30_4
PISO 7	K76	389.673	435.00	SLB2 30_4
PISO 7	K75	389.462	435.00	SLB2 30_4
PISO 7	K74	412.730	435.00	SLB2 30_4
PISO 7	K73	412.587	435.00	SLB2 30_4
PISO 6	K72	360.445	376.00	SLB2 30_3
PISO 6	K71	360.466	376.00	SLB2 30_3
PISO 6	K70	408.989	435.00	SLB2 30_4
PISO 6	K69	408.980	435.00	SLB2 30_4
PISO 6	K68	405.270	435.00	SLB2 30_4
PISO 6	K67	405.278	435.00	SLB2 30_4
PISO 6	K66	408.690	435.00	SLB2 30_4
PISO 6	K65	408.689	435.00	SLB2 30_4
PISO 6	K64	395.445	435.00	SLB2 30_4
PISO 6	K63	395.491	435.00	SLB2 30_4
PISO 6	K62	415.277	435.00	SLB2 30_4
PISO 6	K61	415.243	435.00	SLB2 30_4
PISO 5	K60	365.884	376.00	SLB2 30_3
PISO 5	K59	365.905	376.00	SLB2 30_3
PISO 5	K58	415.918	435.00	SLB2 30_4
PISO 5	K57	415.903	435.00	SLB2 30_4

PISO 5	K56	419.148	435.00	SLB2 30_4
PISO 5	K55	419.155	435.00	SLB2 30_4
PISO 5	K54	425.348	435.00	SLB2 30_4
PISO 5	K53	425.348	435.00	SLB2 30_4
PISO 5	K52	399.358	435.00	SLB2 30_4
PISO 5	K51	399.395	435.00	SLB2 30_4
PISO 5	K50	372.593	376.00	SLB2 30_3
PISO 5	K49	372.521	376.00	SLB2 30_3
PISO 4	K48	369.367	376.00	SLB2 30_3
PISO 4	K47	369.388	376.00	SLB2 30_3
PISO 4	K46	418.588	435.00	SLB2 30_4
PISO 4	K45	418.571	435.00	SLB2 30_4
PISO 4	K44	428.669	435.00	SLB2 30_4
PISO 4	K43	428.674	435.00	SLB2 30_4
PISO 4	K42	437.257	456.00	SLB2 30_5
PISO 4	K41	437.256	456.00	SLB2 30_5
PISO 4	K40	400.141	435.00	SLB2 30_4
PISO 4	K39	400.169	435.00	SLB2 30_4
PISO 4	K38	370.386	376.00	SLB2 30_3
PISO 4	K37	370.296	376.00	SLB2 30_3
PISO 3	K36	369.708	376.00	SLB2 30_3
PISO 3	K35	369.727	376.00	SLB2 30_3
PISO 3	K34	413.784	435.00	SLB2 30_4
PISO 3	K33	413.771	435.00	SLB2 30_4
PISO 3	K32	430.063	435.00	SLB2 30_4
PISO 3	K31	430.066	435.00	SLB2 30_4
PISO 3	K30	440.002	456.00	SLB2 30_5
PISO 3	K29	440.002	456.00	SLB2 30_5
PISO 3	K28	396.008	435.00	SLB2 30_4
PISO 3	K27	396.024	435.00	SLB2 30_4
PISO 3	K26	370.238	376.00	SLB2 30_3
PISO 3	K25	370.151	376.00	SLB2 30_3
PISO 2	K24	367.050	376.00	SLB2 30_3
PISO 2	K23	367.064	376.00	SLB2 30_3
PISO 2	K22	400.098	435.00	SLB2 30_4
PISO 2	K21	400.092	435.00	SLB2 30_4
PISO 2	K20	418.319	435.00	SLB2 30_4
PISO 2	K19	418.322	435.00	SLB2 30_4
PISO 2	K18	427.870	435.00	SLB2 30_4
PISO 2	K17	427.870	435.00	SLB2 30_4
PISO 2	K16	386.514	435.00	SLB2 30_4
PISO 2	K15	386.522	435.00	SLB2 30_4
PISO 2	K14	370.088	376.00	SLB2 30_3
PISO 2	K13	370.025	376.00	SLB2 30_3
PISO 1	K12	358.395	376.00	SLB2 30_3

PISO 1	K11	358.395	376.00	SLB2 30_3
PISO 1	K10	372.270	376.00	SLB2 30_3
PISO 1	K9	372.270	376.00	SLB2 30_3
PISO 1	K8	388.668	435.00	SLB2 30_4
PISO 1	K7	388.668	435.00	SLB2 30_4
PISO 1	K6	393.943	435.00	SLB2 30_4
PISO 1	K5	393.943	435.00	SLB2 30_4
PISO 1	K4	370.146	376.00	SLB2 30_3
PISO 1	K3	370.144	376.00	SLB2 30_3
PISO 1	K2	366.671	376.00	SLB2 30_3
PISO 1	K1	366.670	376.00	SLB2 30_3

Como se muestra en la última columna del cuadro 64, se emplearán 30 dispositivos SLB2 30_3, 62 dispositivos SLB2 30_4 y 4 dispositivos SLB2 30_5.

3.3.11 Análisis comparativo entre los resultados obtenidos de los disipadores Taylor y Shear Link Bozzo.

En esta sección se presenta las comparaciones entre la estructura convencional, la estructura que integra disipadores SLB y la estructura que integra los disipadores SLB, con el objetivo de identificar el sistema que presenta un mejor comportamiento estructural frente a solicitaciones sísmicas. Cabe recalcar que el presente análisis comparativo se realizó considerando la disposición mediante diagonales metálicas para el disipador Taylor, y muros desacoplados para el disipador SLB, por lo tanto, cambiándolos de disposición puede variar los resultados a favor o en contra de uno.

3.3.11.1 Desplazamientos dependientes del tiempo:

La figura 76 presenta los desplazamientos máximos que genera el efecto sismo en la dirección X, el cual se encuentra en el piso 4, donde se observa a simple vista que, para ambos casos donde al sistema se le añade un tipo de disipador, sus desplazamientos se encuentran por debajo del correspondiente al de la estructura convencional, sin embargo, si se analiza a detalle y seleccionando los máximos en cada caso se determina que para la estructura convencional le corresponde un desplazamiento de 94.169 mm, para la estructura con presencia de disipadores Taylor le corresponde un

desplazamiento de 57.888 mm y, finalmente, la estructura con disipadores SLB presenta un desplazamiento de 57.612 mm.

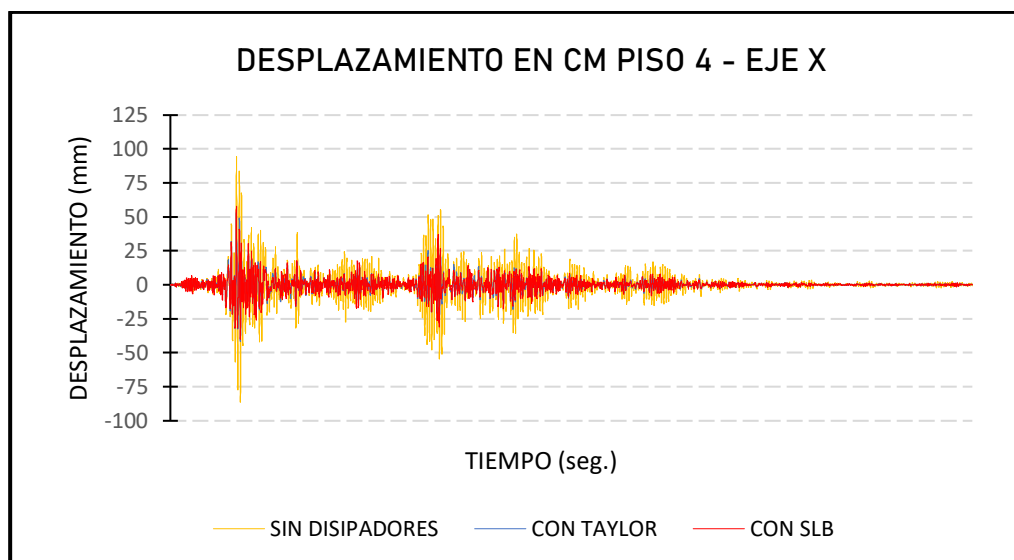


Figura 76. Comparación del desplazamiento en el CM del piso N°4 entre disipadores SLB y Taylor - EJE X.

La figura 77 presenta los desplazamientos máximos que genera el efecto sismo en la dirección Y, el cual se encuentra en el piso 6, donde se observa a simple vista que, para ambos casos donde al sistema se le añade un tipo de disipador, sus desplazamientos se encuentran por debajo del correspondiente al de la estructura convencional, sin embargo, si se analiza a detalle y seleccionando los máximos en cada caso se determina que para la estructura convencional le corresponde un desplazamiento de 96.559 mm, para el caso de la estructura con disipadores Taylor le corresponde un desplazamiento de 88.837 mm y la estructura con disipadores SLB presenta un desplazamiento de 81.134 mm.

Tomando como referencia lo expuesto para ambos sentidos de análisis, se determina que el sistema SLB conduce a reducir los desplazamientos en mayor porcentaje que el sistema Taylor, debido que los desplazamientos están relacionados directamente con la rigidez de la estructura.

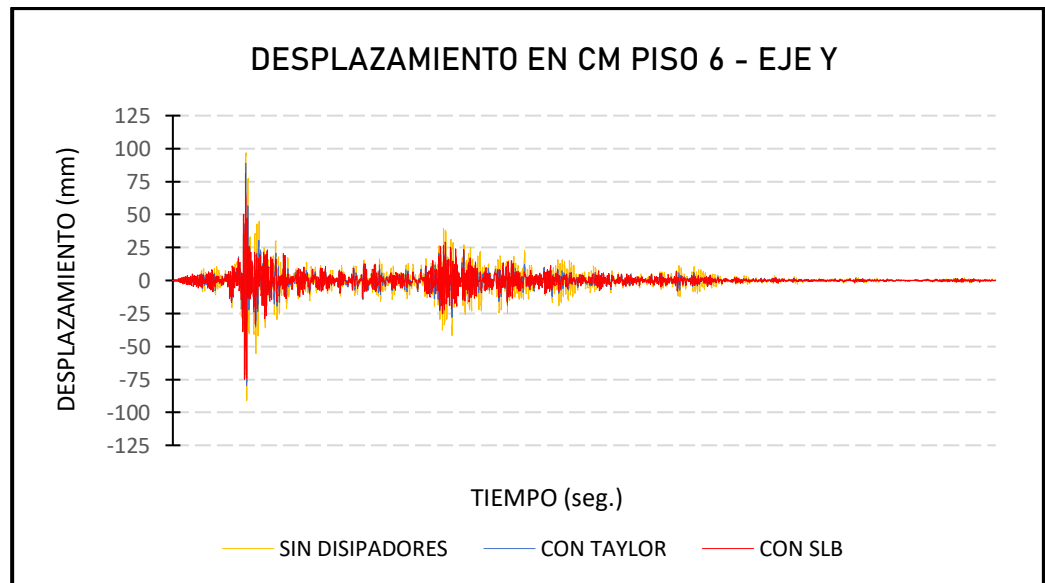


Figura 77. Comparación de desplazamiento en el CM del piso N°6 entre disipadores SLB y Taylor - EJE Y.

3.3.11.2 Derivas de entrepiso

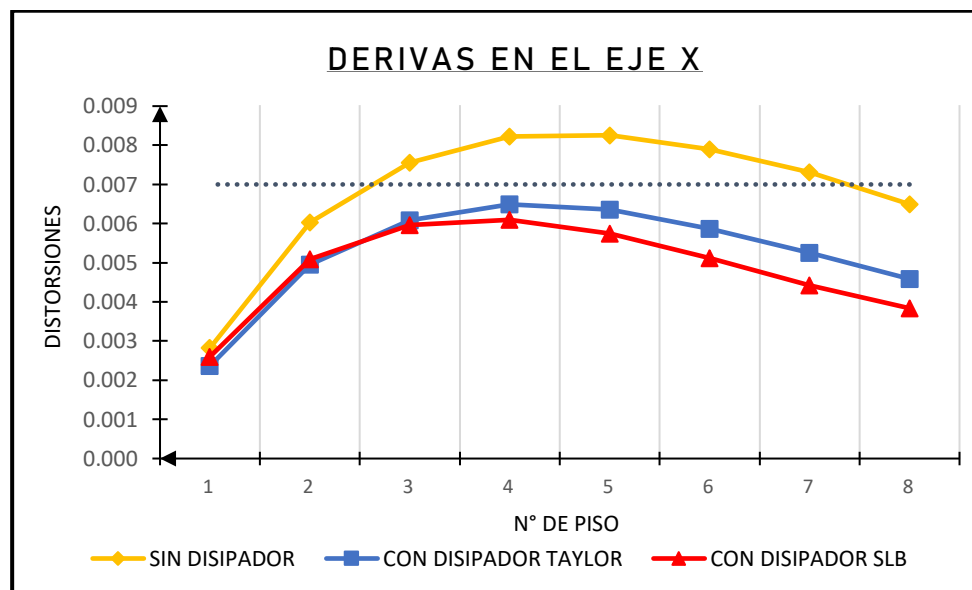


Figura 78. Comparación de derivas en el CM entre disipadores SLB y Taylor - EJE X.

La figura 78 presenta las derivas o distorsiones en el centro de masa (C.M.) en la dirección X para cada caso de la estructura, donde se observa, indiscutiblemente, que la estructura integrado con los disipadores SLB genera una mejor respuesta estructural en comparación a su competencia,

los disipadores Taylor. El sistema SLB generó una deriva máxima en el eje X de 0.00610 mientras que con los disipadores Taylor se obtuvo 0.00649.

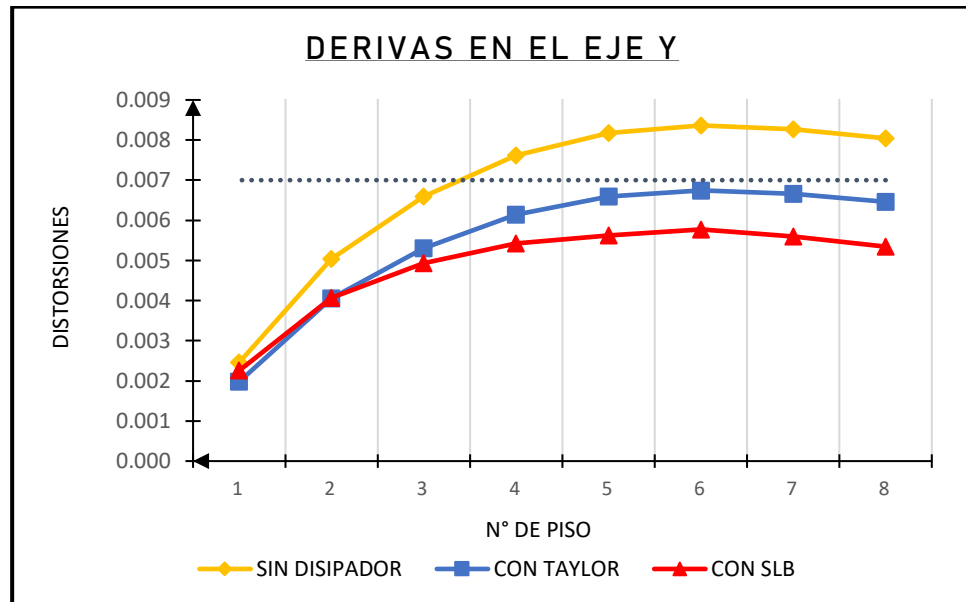


Figura 79. Comparación de derivas en el CM entre disipadores SLB y Taylor - EJE Y.

La figura 79 presenta las derivas o distorsiones en el centro de masa (C.M.) en la dirección Y, donde se observa que la estructura integrado por los disipadores SLB también generó una mejor respuesta estructural en comparación con los disipadores Taylor. El sistema SLB presentó una deriva máxima en el eje Y de 0.00577 mientras que con los disipadores Taylor se obtuvo 0.00675.

Los resultados para ambos sentidos de análisis se relacionan con las figuras 76 y 77, donde se determinó que, el disipador SLB, al añadirle rigidez al sistema, reduce los desplazamientos relativos de entrepiso y por ende las derivas.

3.3.11.3 Periodos fundamentales de vibración

La figura 80 presenta la comparación entre los tres sistemas (convencional, con Taylor y con SLB), donde se observa que el sistema que integra los disipadores SLB redujo sus 3 periodos fundamentales de vibración, lo cual se genera debido a que, como se mencionó anteriormente, el disipador SLB

agrega rigidez al sistema estructural y como los periodos son inversamente proporcional a la rigidez y directamente proporcional a la masa, el periodo aumenta. En el caso del sistema con disipadores Taylor, el periodo no debería modificarse debido a que este dispositivo agrega simplemente amortiguamiento al sistema y el periodo no depende de dicho factor, sin embargo, en la figura se observa que el periodo se redujo debido a la rigidez que aportan los brazos rígidos donde se apoyan los disipadores.

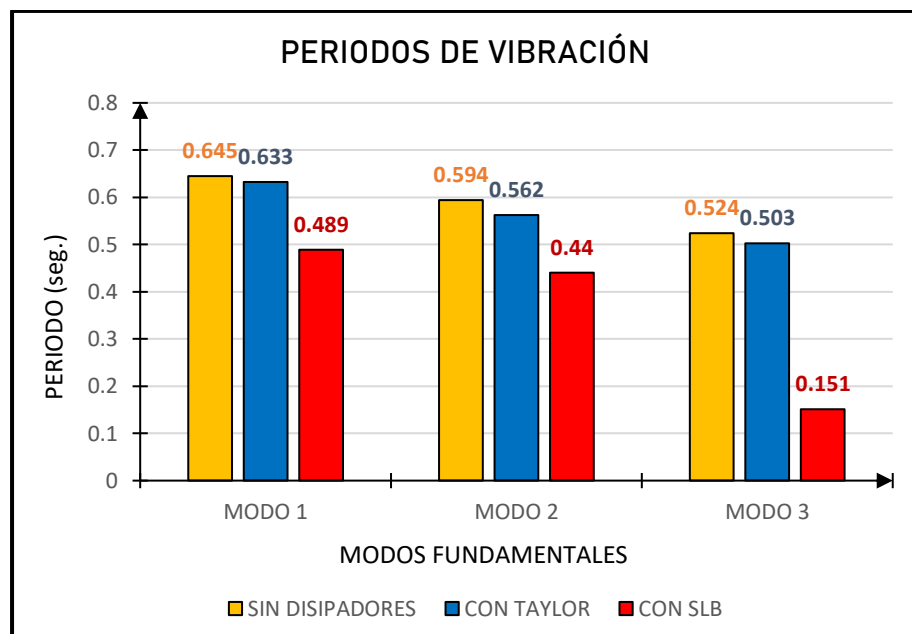


Figura 80. Comparación de periodos fundamentales de vibración entre disipadores SLB y Taylor.

3.3.11.4 Aceleraciones en los centros de masa (CM)

Las figuras 81 y 82 muestran la comparación de las aceleraciones obtenidas por nivel en cada sentido de análisis, donde se observa que en la dirección X y Y, el sistema de disipadores Taylor es la que presenta menores aceleraciones con respecto al sistema de disipadores SLB.

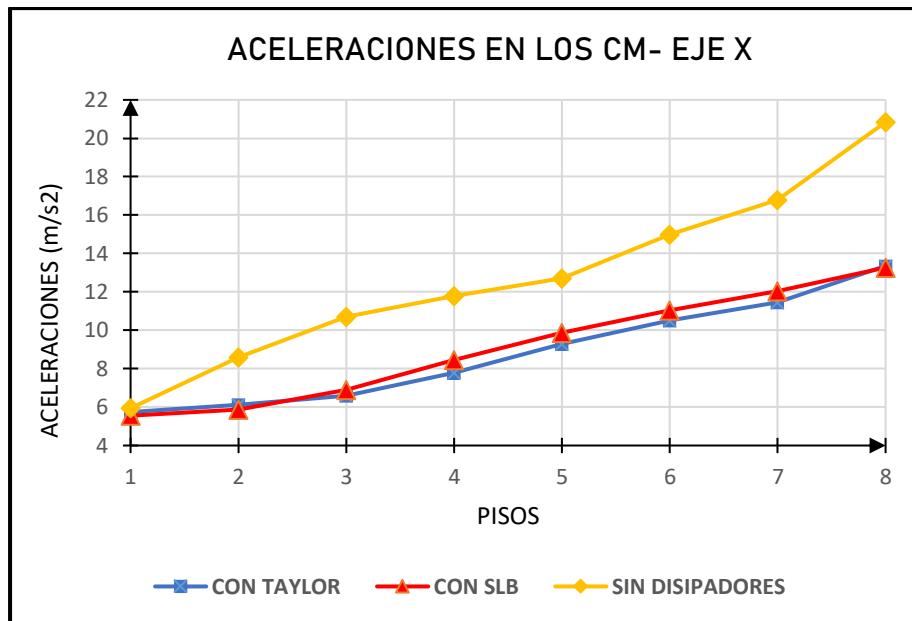


Figura 81. Comparación de aceleraciones en los CM entre disipadores SLB y Taylor - EJE X.

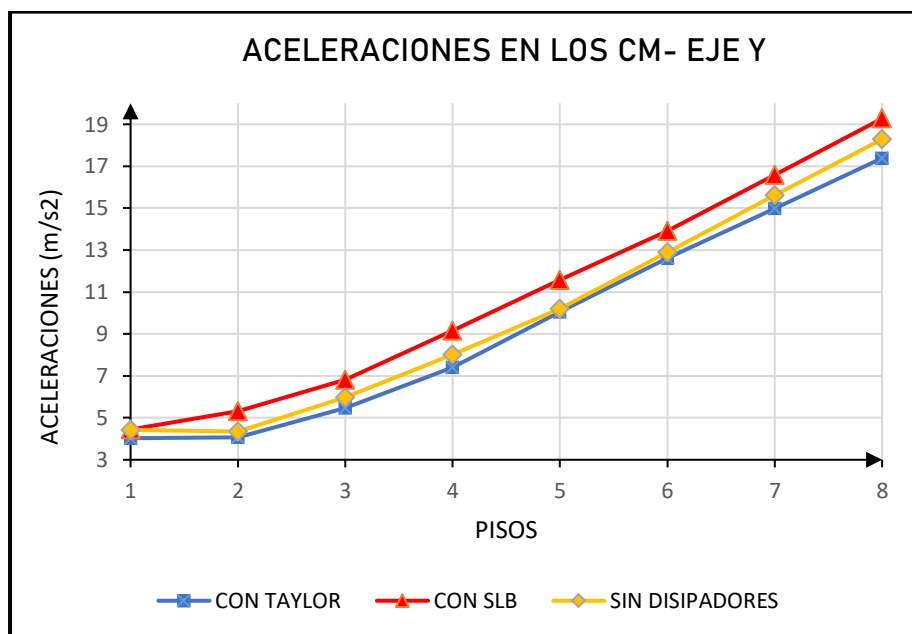


Figura 82. Comparación de aceleraciones en los CM entre disipadores SLB y Taylor - EJE Y.

3.3.11.5 Porcentaje de energía disipada

En la figura 83 se puede apreciar que el mayor porcentaje de energía disipada se lo lleva el disipador Taylor con un valor de 64% de la energía de entrada de sismo, mientras que el SLB se lleva un porcentaje del 34%.

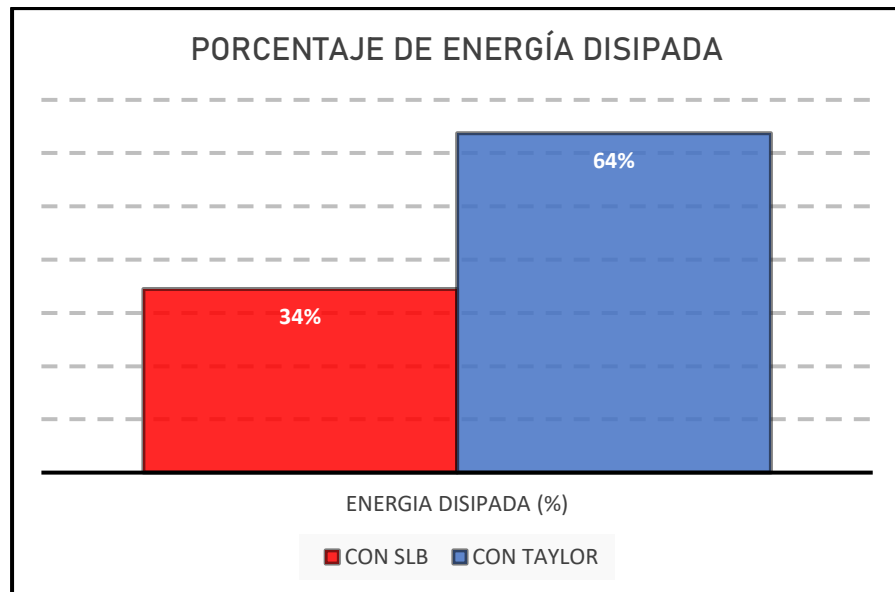


Figura 83. Comparación de energía disipada entre disipadores SLB y Taylor.

Mediante las figuras 78, 79 y 83 se deduce que el disipador SLB, aunque no absorbe el mayor porcentaje de energía de entrada, genera menores derivas que el sistema con disipadores Taylor, es decir, aumentar la rigidez al sistema brinda un mejor comportamiento estructural que añadirle amortiguamiento.

3.3.11.6 Fuerza cortante en base

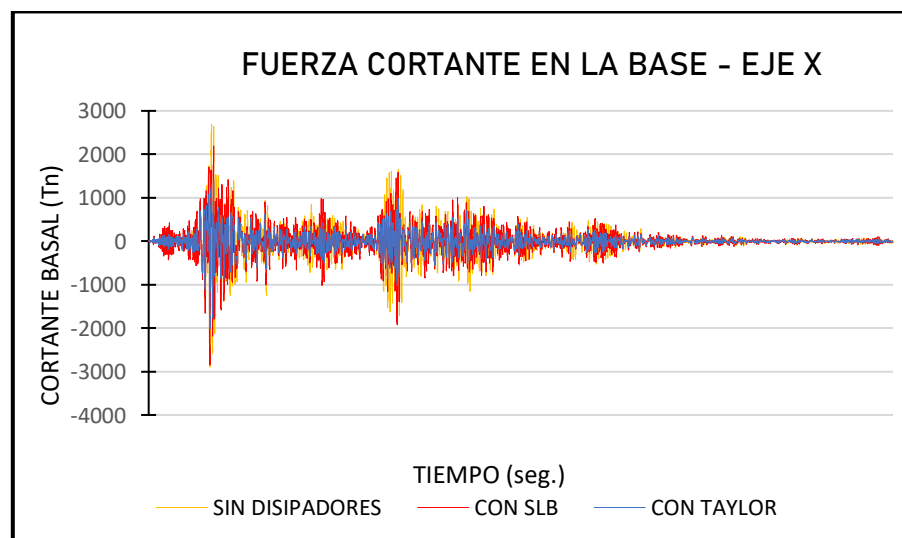


Figura 84. Comparación de Cortante basal entre disipadores SLB y Taylor - EJE X.

En la figura 84 se puede apreciar que ambos sistemas de disipación de energía están por debajo de la convencional, sin embargo, para la comparación entre ellos se selecciona el cortante máximo de cada caso, donde, para el caso de la estructura sin disipadores le corresponde un cortante basal de 2692.384 Tn., el sistema de disipadores Taylor obtuvo 1405.7191 Tn. y con SLB se llegó a 2191.4153 Tn, por lo que se concluye que el disipador Taylor generó menor fuerza cortante en la base.

Por su parte, en la figura 85 se muestra que los disipadores SLB generaron un aumento de la cortante basal llegando a un valor de 3571.8537 Tn. mientras que el sistema con los elementos Taylor presentó un cortante en la base de 1972.1015, tomando como base la estructura convencional la cual llegó a un valor de 2335.8916 Tn.

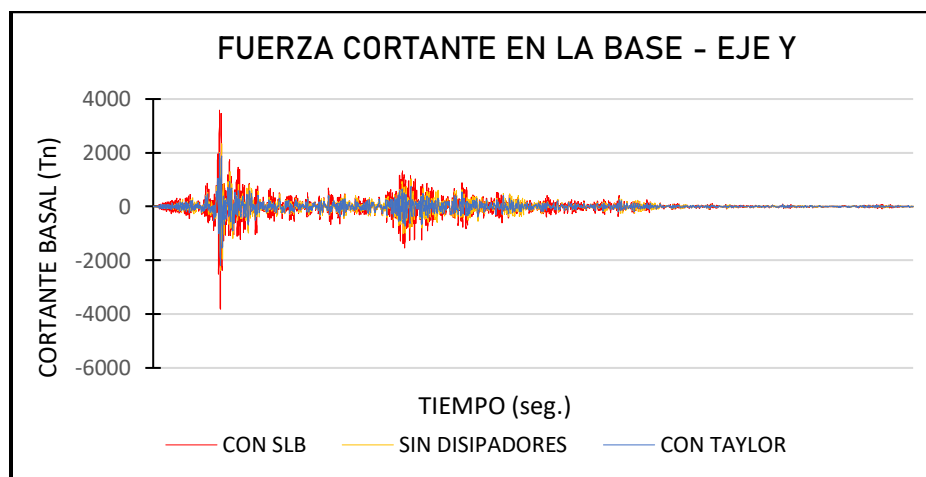


Figura 85. Comparación de Cortante basal entre disipadores SLB y Taylor - EJE Y.

3.3.11.7 Masas por piso

La figura 86 presenta la comparación de masas entre los tres modelos donde lógicamente se observa unos resultados mayores pertenecientes al sistema con disipadores SLB, debido a la presencia de muros de concreto armado desacoplados, y posteriormente se encuentra la estructura incluyendo los disipadores Taylor, ya que el peso de sus elementos es menor.

Sin embargo, para el caso de los disipadores SLB, se pudo reducir el peso de la edificación colocándolos en otra disposición mediante diagonales de

acero, lo cual generará un menor peso de la edificación, reducción de los periodos de vibración, menores desplazamiento y por ende disminución de las derivas de entrepiso.

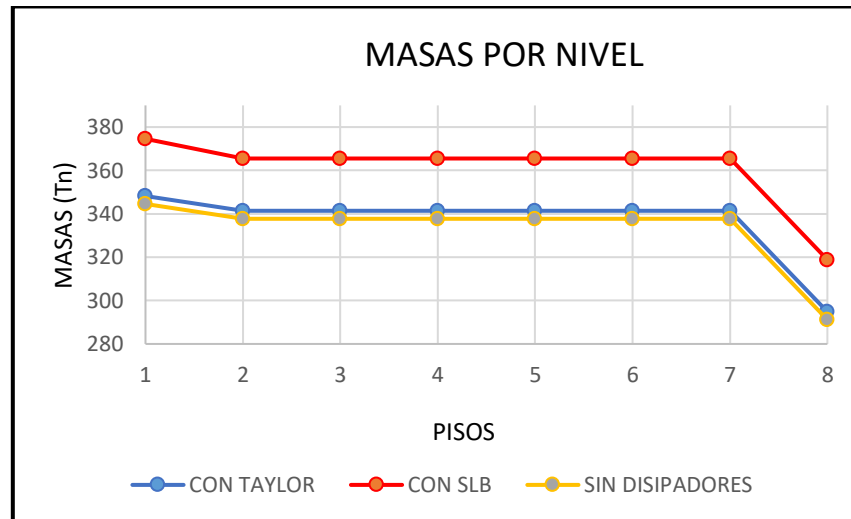


Figura 86. Comparación de masas entre disipadores SLB y Taylor.

3.3.12 Análisis de Costos.

Para generar un análisis de costos, nos hemos basado en montos unitarios aproximados de cada tipo de disipador. El cálculo del presupuesto será obtenido de multiplicar la cantidad de disipadores por su precio unitaria para luego obtener el subtotal que implica el suministro de dichos elementos.

El cuadro 65, detalla el costo total de la adquisición de los disipadores Taylor, del brazo rígido y sus conexiones, donde el presupuesto total de dicha partida resultó S/ 1,162,866.00, mientras que el cuadro 66, revela el costo total del suministro e instalación de los disipadores SLB, en conjunto con sus conexiones y muros desacoplados, dando un monto de S/ 268,681.03. las consideraciones de los precios por disipador son los siguientes:

- Disipador Taylor de 110 KN : \$ 6,700
- Disipador Taylor de 165 KN : \$ 8,500
- Disipador Taylor de 220 KN : \$ 9,000
- Disipador Taylor de 330 KN : \$ 9,500

- Disipador SLB2 30_3 : \$ 200
- Disipador SLB2 30_4 : \$ 250
- Disipador SLB2 30_5 : \$ 270

Es necesario mencionar que los precios en dólares fueron convertidos a moneda peruana multiplicando por el factor 3.30.

Cuadro 65. *Presupuesto del sistema con disipador Taylor.*

01	DISIPADORES DE ENERGÍA	UND.	METRADO	PRECIO (S/.)	PARCIAL (S/.)
01.01	Suministro e instalación de disipadores Taylor de 110 KN	und.	3	S/ 22,110.00	S/ 66,330.00
01.02	Suministro e instalación de disipadores Taylor de 165 KN	und.	8	S/ 28,050.00	S/ 224,400.00
01.03	Suministro e instalación de disipadores Taylor de 220 KN	und.	8	S/ 29,700.00	S/ 237,600.00
01.04	Suministro e instalación de disipadores Taylor de 330 KN	und.	13	S/ 31,350.00	S/ 407,550.00
01.05	Suministro e instalación de perfil metálico HSS 7.5" x 0.5"	und.	32	S/ 950.00	S/ 30,400.00
01.06	Suministro e instalación de conexiones metálicas	und.	64	S/ 300.00	S/ 19,200.00
COSTO DIRECTO =					S/ 985,480.00
IGV (18%) =					S/ 177,386.40
PRESUPUESTO TOTAL =					S/ 1,162,866.00

Cuadro 66. *Presupuesto del sistema con disipador SLB.*

01	DISIPADORES DE ENERGÍA	UND.	METRADO	PRECIO (S/.)	PARCIAL (S/.)
01.01	Suministro e instalación de disipadores SLB2 30_3	und.	30	S/ 660.00	S/ 19,800.00
01.02	Suministro e instalación de disipadores SLB2 30_4	und.	62	S/ 825.00	S/ 51,150.00
01.03	Suministro e instalación de disipadores SLB2 30_5	und.	4	S/ 891.00	S/ 3,564.00
01.04	Suministro e instalación de conexiones metálicas	und.	96	S/ 150.00	S/ 14,400.00
02	MUROS DESACOPLADOS PARA SLB	UND.	METRADO	PRECIO (S/.)	PARCIAL (S/.)
02.01	Concreto para muro desacoplados de SLB, f'c=210 kg/cm2	m3	66.64	S/ 336.70	S/ 22,438.77
02.02	Encofrado y desencofrado normal en muros desacoplados para SLB	m2	1110.72	S/ 48.33	S/ 53,681.10

02.03	Acero $f_y=4200$ kg/cm ² , GRADO 60	Kg	1270.26	S/ 49.33	S/ 62,661.93
COSTO DIRECTO =					S/ 227,695.79
IGV (18%) =					S/ 40,985.24
PRESUPUESTO TOTAL =					S/ 268,681.03

Comparando ambos presupuestos, se deduce que el dissipador SLB es mucho más barato que los dissipadores Taylor, debido a que su sistema es menos complejo y más eficiente. El costo total de suministro e instalación de todo el sistema integral de dissipadores SLB resultó ser 28.16% del costo del sistema Taylor, esto implica que obtendremos una respuesta estructural a favor a un precio muy económico.

Cabe recalcar que el costo del sistema integral de los SLB puede disminuir, ya que se puede optar por una disposición mediante diagonales metálicas los cuales son más baratos que proyectar muros desacoplados de concreto armado.

En el anexo 13 se detalla el metrado del acero de los muros desacoplados del dissipador SLB considerando una sola capa de malla de acero la cual se compone de acero vertical de 5/8" a cada 0.15m. y acero horizontal de 1/2" a cada 0.15m.

3.3.13 Diseño Estructural

Para el diseño de los elementos estructurales de la estructura, se eligió entre las dos alternativas de integración de dissipadores considerando criterios económicos y de comportamiento estructural eficiente llegando a seleccionar la edificación con el sistema de dissipadores SLB.

El procedimiento de diseño de detalla en el anexo 14 donde se presenta una memoria de cálculo estructural considerando los elementos más desfavorables para la envolvente de cargas.

La figura 87 muestra el detalle de la viga V101 (0.30x0.65), la cual es la que presenta los esfuerzos mayores en el sistema; en la figura 88 se puede apreciar el detalle de la columna C1 con dimensiones 0.30x0.80 m. y en la figura 89 se puede ver el detalle de acero del muro de concreto M1.

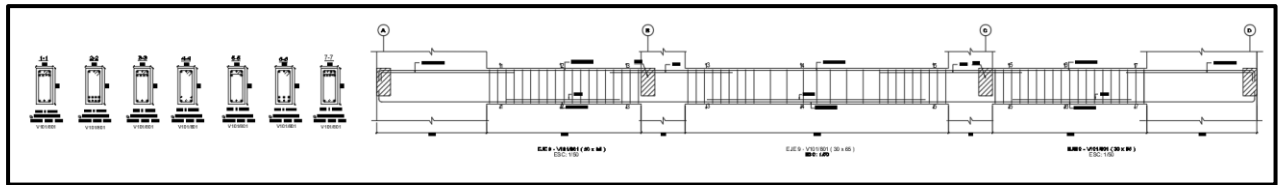


Figura 87. Detalle de viga 101 (0.30x0.65)

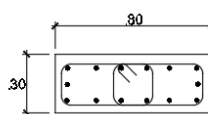
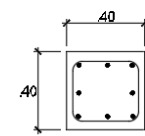
DETALLES DE COLUMNAS				
ESCALA: 1/25				
TIPO	SECCIÓN	REFUERZO	ESTRIBOS	RECUMBRIMIENTO
C1		14Ø3/4"	2Ø3/8" 1@.05 9@.10 r.@.20 c/ext	r = 4 cm.
C2		8Ø3/4"	2Ø3/8" 1@.05 9@.10 r.@.20 c/ext	r = 4 cm.

Figura 88. Detalle de Columnas C1 y C2

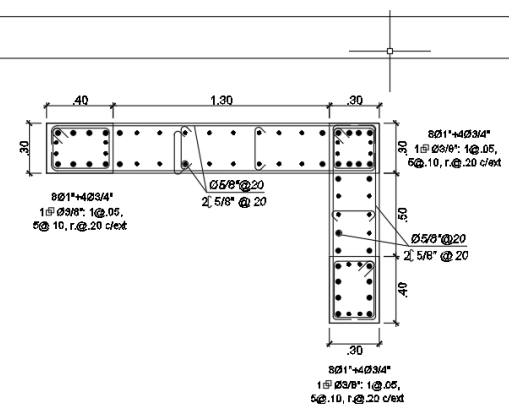
DETALLES DE PLACAS	
ESCALA: 1/25	
TIPO	SECCIÓN
PL1	

Figura 89. Detalle de Placa 1

IV. DISCUSIÓN

- López y Plasencia (2017), en su investigación titulada “Diseño estructural del edificio multifamiliar las flores del golf de 9 niveles empleando disipadores de energía Shear Link Bozzo”, concluyeron que, al colocarle los disipadores mencionados, se logró disminuir el periodo fundamental de la estructura en un 10.17%, además de conseguir reducir los desplazamientos laterales hasta un 34%. De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente estudio, se corroboró que efectivamente, los disipadores SLB acortan el periodo fundamental de la estructura alcanzando reducir un 24% de la estructura convencional, esto debido a que dicho elemento aporta rigidez lateral al sistema estructural llegando a reducir los periodos en un porcentaje considerable. Así mismo se llegó a obtener desplazamientos más pequeños en dimensión, logrando disminuir hasta un 38.82% de la estructura convencional.
- Alva y Castro (2017), en su investigación publicada con el título “Análisis y diseño estructural en edificaciones implementando disipadores de energía viscoso Taylor”, concluyeron que, al incorporar dichos disipadores a una edificación de 9 niveles, de uso oficinas y de muros estructurales, se logró reducir el daño estructural debido a que este sistema absorbió el 41.31% de energía de entrada de sismo. Con la presente investigación se logró corroborar esta información debido que, para la estructura propuesta, se llegó a reducir un 64% de la energía sísmica, es decir se obtuvo un mayor amortiguamiento que el de la investigación citada; esto responde a la cantidad de disipadores Taylor que se incorporaron en la edificación planteada para obtener derivas debajo del máximo permitido, por lo que se puede deducir que para que este sistema sea eficiente, se deberá disponer varios dispositivos en las zonas donde se generen mayores aceleraciones. Adicionalmente, estos autores concluyen en su investigación que, con la ayuda de estos disipadores de fluido viscoso, lograron disminuir hasta un 16.7% la deriva máxima permitida (0.007) por la normativa sismorresistente peruana; sin embargo, para el objeto de análisis usado en este estudio, se consiguió acortar este límite hasta un 3.57%, incorporando un gran número de elementos Taylor al sistema, por lo que se puede deducir que la efectividad del sistema no depende del número de disipadores colocados en la

edificación, depende de la ubicación estratégica que se considere para su disposición.

- Según Díaz La Rosa Sánchez (2014), en su estudio titulado “Evaluación del proyecto estructural y optimización del diseño con disipadores de energía viscosos Taylor para una edificación esencial de 6 pisos”, determinó que la integración de estos disipadores incrementa el presupuesto de la edificación por metro cuadrado llegando a un valor de \$ 122.51/m². En la presente investigación se corrobora dicho valor ya que para este sistema se obtuvo un costo directo de S/ 985,480.00 para un área techada de 2,477.12 m² correspondiéndole un valor de S/ 397.83/m² el cual se puede representar con un valor en dólares de \$ 120.55/m² siendo semejante al resultado obtenido por el autor Díaz La Rosa. Adicionalmente, se verificó que la inclusión de los disipadores SLB reducen este monto significativamente, llegando a obtener \$27.85/m² de área techada, reiterando el beneficio que genera estos dispositivos.
- Fuentes (2015) en su investigación titulada “Análisis sísmico de una edificación con disipadores de fluido viscoso”, llegó a la conclusión que al considerar un análisis lineal ($\alpha = 1$) se obtiene menores fuerzas en la base y menores desplazamientos en comparación a desarrollar un análisis no lineal ($\alpha = 0.25$) con lo que se obtiene fuerzas de amortiguamiento menores, es decir resulta fuerzas inerciales mayores y por ende desplazamientos mayores. Esto se sustenta debido a que la fuerza del disipador es inversamente proporcional al coeficiente de la velocidad “ α ”, sin embargo, para la presente investigación se realizó un análisis no lineal considerando $\alpha = 0.5$ logrando resultados más desfavorables que considerando $\alpha = 1$.
- Se contempló que al analizar la estructura considerando disipadores SLB se logró aumentar la rigidez lateral como lo menciona la teoría, sin embargo, esto puede influir en el aumento de esfuerzos en los elementos estructurales conduciendo a un acrecimiento de la cuantía de acero de los mismos. Por otra parte, los disipadores Taylor no aumentan los esfuerzos en los elementos resistentes a fuerzas laterales debido a que este sistema genera mayor amortiguamiento frente a cargas cíclicas, por lo que, considerando la ecuación del equilibrio dinámico, generará menores esfuerzos histeréticos.

V. CONCLUSIONES

- Se proyectó la edificación multifamiliar a nivel arquitectónico, la cual consta de 8 niveles con una altura de 2.9m por planta, ubicada en el sector San Andrés I etapa – Trujillo, Mz. Q, lote 1 y 2. El planteamiento arquitectónico consta de un primer piso destinado para estacionamiento en conjunto con un área para recepción, del segundo al octavo nivel será típico, la cual se dispuso 2 departamentos por piso contando con un área de 132.13m² cada una, en donde presenta ambientes para sala-comedor, 1 cocina, ½ baño para visitas, 1 baño completo, 1 lavandería, 2 dormitorios simples y 1 dormitorio principal que incluye baño independiente. Para el diseño de sus espacios se tuvo en consideración las normas de arquitectura A.010 y A.020 las cuales brindan los requisitos mínimos para edificaciones destinadas a viviendas, de la misma manera se respetó criterios básicos de iluminación y ventilación para cada ambiente.
- Se logró evaluar el análisis sísmico de la edificación multifamiliar planteada realizando procedimientos estáticos y dinámicos como rige la norma peruana sismorresistente E.030. Tras el análisis, se llegó a determinar que la estructura presentó falta de rigidez lateral en sus elementos llegando a superar las distorsiones máximas permitidas (0.007). Para el análisis dinámico, en el eje X se obtuvo una deriva máxima en el piso 5 con un valor de 0.00826 superando en un 18% el máximo permisible; en el eje Y se alcanzó una deriva máxima en el piso 6 con un valor de 0.00836 superando en un 19.43% el máximo permisible. De igual forma, se logró un cortante basal en la dirección X de 477.77Tn, y en la dirección Y de 524.76 Tn., lo cual se considera racional obtener mayores cortantes en la dirección Y debido a que en ese eje presenta irregularidad por torsión, siendo este factor un amplificador de las cargas sísmicas.
- Se consiguió evaluar el comportamiento de la edificación multifamiliar proyectada integrando el disipador Shear Link Bozzo bajo acción de las cargas sísmicas. Para analizar la edificación integrada de dichos dispositivos se seleccionó tres grupos de acelerogramas correspondientes a los sismos de Ica - 2007, Moquegua 2001 y Moyobamba 2005, los cuales fueron escalados en base a su espectro de pseudo-aceleraciones correspondientes a las características del

terreno y estructura. Seguidamente se llegó a la conclusión que los disipadores SLB incorporan rigidez al sistema, a diferencia de los disipadores Taylor, los cuales agregan amortiguamiento. Esto se ve reflejado en la reducción de los desplazamientos de entrepiso y el periodo fundamental de vibración de la estructura el cual depende directamente de la rigidez lateral. En la dirección X se obtuvo una distorsión máxima en el piso 4 de 0.0061 que corresponde a una reducción del 36.85% respecto a la estructura convencional. En la dirección Y se obtuvo una deriva máxima en el piso 6 de 0.00577 que corresponde a una reducción del 23.98% respecto a la estructura convencional. Adicionalmente se alcanzó una reducción del periodo fundamental de la estructura del 24.19% correspondiente a un valor de 0.489 seg. Por otra parte, al aportar rigidez al sistema estructural, se logró aumentar la energía histerética absorbida por parte de los dispositivos SLB alcanzando a disipar el 34% de la energía de sismo de entrada correspondiente a un valor de 395.8942 Tn.m. La disposición de los disipadores SLB, para este caso, se consideró mediante muros desconectados de concreto armado los cuales, lógicamente, generan un peso adicional llegando a obtener un peso total de la estructura de 2885.77 Tn. lo que corresponde un adicional del 8.42% respecto al peso de la edificación convencional. No obstante, a pesar que se obtuvo resultados favorables en relación a desplazamientos, periodos de vibración y disipación de energía, la implementación de estos dispositivos al sistema generó el aumento de las aceleraciones en los centros de masa en el sentido Y, alcanzando un acrecentamiento máximo del 13.64% en el nivel 5; en la dirección X se produjo una reducción considerable de las aceleraciones produciendo una disminución del 36.35% respecto a los resultados de la estructura convencional.

- Se logró evaluar el comportamiento de la edificación multifamiliar proyectada integrando el disipador Taylor bajo acción de las cargas sísmicas. Para analizar la edificación integrada de dichos dispositivos se empleó los tres mismos grupos de acelerogramas escalados usados para el caso de los disipadores SLB. Luego del análisis tiempo historia se concluyó que los disipadores aportan amortiguamiento al sistema, a diferencia de los SLB, los cuales incorporan rigidez. Esto se ve reflejado en la ausencia de diferencia en el periodo

fundamental de vibración de la estructura el cual, al no aportarle rigidez al sistema, no se modifica o se modifica en menor magnitud debido a los brazos metálicos que sirven como apoyo para estos disipadores. En la dirección X se obtuvo una distorsión máxima en el piso 4 de 0.00649 que corresponde a una reducción del 21.14% con respecto a la estructura convencional. En la dirección Y se obtuvo un desplazamiento máximo en el piso 6 de 0.00675 que corresponde a una reducción del 14.45% con respecto a la estructura convencional. Adicionalmente se alcanzó una reducción del periodo fundamental de la estructura del 1.86% correspondiente a un valor de 0.633 seg. Por otra parte, al aportar amortiguamiento al sistema estructural, se logró aumentar la energía de amortiguamiento absorbida por parte de los dispositivos Taylor alcanzando a disipar el 64% de la energía de sismo de entrada correspondiente a un valor de 784.6253 Tn.m. La disposición de los disipadores Taylor, para este caso, se consideró mediante diagonales metálicas los cuales no generan un peso adicional importante llegando a obtener un peso total de la estructura de 2690.87 Tn. lo que corresponde un adicional del 1.10% respecto al peso de la edificación convencional. Asimismo, la implementación de estos dispositivos generó la disminución de las aceleraciones en los centros de masa en el sentido X e Y, tomando porcentajes de reducción máximos del 35.94% y 4.92% respectivamente en el piso 8 respecto a los resultados de la estructura convencional.

- Se efectuó la comparación del desempeño sísmico entre los disipadores SLB y Taylor aplicados en un modelo estructural destinado a vivienda multifamiliar en la ciudad de Trujillo conformado por muros estructurales. En cuanto a desplazamientos, en el eje X se lograron distorsiones máximas en el piso 4 donde se obtuvo valores del 0.00649 y 0.00619 para la estructura con Taylor y SLB respectivamente; mientras que en el eje Y se lograron distorsiones máximas en el piso 6 donde se obtuvo valores del 0.00675 y 0.00577 para la estructura con Taylor y SLB respectivamente. en cuanto a los periodos de vibración de la estructura, se obtuvo una reducción significativa con los disipadores SLB llegando a un valor de 0.489 seg. mientras que con los disipadores Taylor se logró una pequeña reducción debido a los brazos metálicos. Sin embargo, en

cuanto a las masas, es cierto que con los disipadores SLB se obtuvo una carga mayor al que generó los disipadores Taylor, esto debido a que los sistemas por plastificación se dispusieron sobre muros desacoplados de concreto armado aumentando el peso del mismo; no obstante, se puede disminuir la carga de dicho sistema considerando una disposición mediante diagonales metálicas igualando o superando al sistema con disipadores Taylor. Es por ello, que al cotejar ambos dispositivos se llegó a la conclusión que el sistema integrado por disipadores por plastificación SLB obtuvo mejores resultados en comparación al sistema con disipadores de fluido viscoso Taylor.

- Se logró comparar los costos del suministro e instalación de ambos sistemas de disipación de energía implementados en la edificación multifamiliar propuesta. Para el caso de los disipadores Taylor, se emplearon un total de 32 dispositivos con un costo parcial del S/ 935,880.00; 32 perfiles metálicos HSS de 7.5” de diámetro y 0.5” de espesor con un costo parcial de S/ 30,400.00; y 64 conexiones metálicas con un costo de S/ 19,200.00, dando un costo directo de S/ 985,480.00 que al añadirle el precio del IGV (18%) se obtiene un presupuesto total de S/1,162,866.00. Para el caso de los disipadores SLB, se emplearon 96 dispositivos con un costo parcial del S/ 74,514.00, más las conexiones metálicas con un costo parcial de S/ 14,400.00, adicionalmente se consideró el costo de la construcción de los muros desacoplados, los cuales generaron un costo parcial de S/ 138,781.80, dando un costo directo de S/ 227,695.79 que al añadirle el precio del IGV se obtiene un presupuesto total de S/ 268,681.03. Con los resultados obtenidos se puede determinar que el sistema más barato les pertenece a los disipadores SLB, están con 23.11% por debajo del disipador Taylor.
- Se consiguió efectuar el diseño estructural de la edificación multifamiliar proyectada llegando al cálculo del acero estructural considerando los parámetros que brindan el reglamento peruano de diseño en concreto armado E.060. Para el diseño se seleccionó los esfuerzos de la edificación con el sistema de disipación de energía que tuvo un mejor desempeño sísmico y un costo más barato, eligiéndose el sistema SLB. El resultado del diseño se puede verificar en el anexo 14 donde se muestran los planos estructurales y además el anexo 15 donde se presenta una memoria de cálculo detallando los procedimientos realizados.

VI. RECOMENDACIONES

- La disposición de los disipadores SLB influyen directamente en el periodo fundamental de vibración de la estructura, debido a que la colocación mediante muros de concreto armado desconectados aumentará el peso de la edificación, por ende, el periodo incrementará su valor; es por ello, que se recomienda colocarlo mediante la brazos metálicos o diagonales metálicas, reduciendo significativamente su peso y a la vez su periodo de vibración.
- Se recomienda usar los disipadores SLB en edificaciones altas (10 – 12 pisos) ubicadas en zonas con suelo blando (S3), debido a que, siendo el periodo del suelo en esas zonas mayor a 1.00 seg., según lo indica la norma E.030 (cuadro 24), y considerando que aproximadamente el periodo fundamental de la estructura es 0.1 multiplicada por el número de pisos, puede resultar una igualación de frecuencias desencadenando el fenómeno denominado resonancia, por lo que la amplitud del movimiento sísmico tiende a aumentar infinitamente incrementando el riesgo de colapso. Los disipadores SLB, al agregar rigidez a la edificación, reducirán considerablemente el periodo de la edificación, a su vez produciendo una desigualdad entre ambos periodos reduciendo la posibilidad de generar efectos de resonancia.
- Se recomienda el uso de disipadores SLB para el caso donde sea necesario una edificación con un primer nivel de una altura considerable de tal manera que se produzca irregularidad por piso blando. Al agregar el disipador SLB en el primer piso, se logrará aumentar la rigidez para dicho diafragma eliminando la irregularidad presentada.
- Los disipadores SLB y Taylor también pueden ser usados para eliminar las irregularidades torsionales y/o torsionales extremas, debido al acrecentamiento de rigidez y amortiguamiento, respectivamente, que provoca su presencia dentro del sistema estructural. Al colocarlo en ejes específicos tratando de generar una posible igualdad entre la ubicación del centro de masas y el centro de rigideces, reducirá efectos de torsión mejorando el comportamiento de la estructura frente a cargas sísmicas.

- Se recomienda optar por disponer los SLB mediante diagonales metálicas para obtener pesos menores a los obtenidos en la presente investigación, disminuyendo las fuerzas inerciales de entrepiso.
- Los disipadores SLB, no necesitan ser colocados continuamente a lo alto de la estructura, en comparación a su competencia, los Taylor; por este motivo, se puede adaptar al diseño arquitectónico de la edificación evitando modificar o eliminar las entradas importantes de iluminación y ventilación.
- Los disipadores Taylor, al depender de la velocidad, se recomienda ser colocados en las zonas más alejadas del centro de masas de la edificación debido a que es el lugar donde se obtendrán mayores velocidades y un mejor comportamiento del elemento.
- La construcción de muros desacoplados para el sistema de disipadores SLB representa el 60.95% del presupuesto total por lo cual se recomienda optar por una disposición mediante diagonales metálicas para reducir dicho monto.

REFERENCIAS

- Cámara Chilena de la Construcción Protección sísmica de estructuras-Sistemas de Aislación Sísmica y Disipación de Energía. Chile,2011.
- BORDA, Luis y PASTOR, Adolfo. Desempeño sísmico de un edificio aporticado peruano de seis. Tesis (Ingeniero civil). Lima: Pontifica Universidad Católica del Perú, Facultad de ingeniería, 2007.pp.
- ALIAGA, Javier y VASQUEZ, José. Análisis comparativo del diseño estructural aplicando la norma sismorresistente vigente y el proyecto de norma, para el proyecto hospital Upao en la ciudad de Trujillo. Tesis (Ingeniero civil). Trujillo: Universidad Privada Antenor Orrego, Facultad de Ingeniería, 2015. pp.325.
- FUENTES, Juan. Análisis sísmico de una edificación con disipadores de Fluido Viscoso. Tesis (Ingeniero civil). Lima: Pontifica Universidad Católica del Perú, Facultad de Ingeniería, 2015.pp 98.
- GUEVARA, Diego y TORRES, Percy. Diseño de un edificio aporticado con amortiguadores de fluido-viscoso en disposición diagonal. Tesis (Ingeniero civil). Lima: Pontifica Universidad Católica del Perú, Facultad de Ingeniería, 2012. pp.89.
- SANTOS, Liliana. Aisladores y disipadores sísmicos en edificaciones de concreto armado. Tesis (Ingeniero Civil). Moquegua: Universidad José Carlos Mariátegui, Facultad de Ingeniería, 2017.pp 89.
- MAMANÍ, Alfredo. Evaluación del comportamiento sísmico, sistemas de aisladores con respecto al sistema convencional para las edificaciones esenciales, del hospital del callao-Lima-Callao 2017. Tesis (Ingeniero Civil). Lima: Universidad Privada Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería, 2017. pp. 119.
- CARMONA, Pedro y ROSAS, Angello. Análisis Comparativo del Comportamiento Sísmico Dinámico del diseño normativo sismo-resistente de un sistema dual frente al modelo con aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento (HDR) de un sistema aporticado, del Edificio de Oficinas Schell de seis pisos ubicado en la Provincia de Lima – Perú. Tesis (Ingeniero Civil). Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Facultad de Ingeniería, 2015. Pp. 121.

- Duran, Campbell, Guajardo, Jorquera. Comparative Analaysis of the Behavior of Reinforced Concrete Structure with and withou Energy Dissipators (Análisis Comparativo del comportamiento de un edificio de hormigón armado con y sin disipadores de energía).
- ALVA, Juan y CASTRO, Karla. Análisis y diseño estructural en edificaciones implementado disipadores de energía viscoso. Tesis (ingeniero civil). Trujillo: Universidad Privada Antenor Orrego, Facultad de Ingeniería, 2017. pp. 183.
- ALARCÓN, Jhosip y ASTO, Jesús. Proyecto de reforzamiento estructural del edificio multifamiliar los Rosales de 10 niveles con disipadores de energía. Tesis (ingeniería civil). Trujillo: Universidad Privada Antenor Orrego, Facultad de Ingeniería, 2017. pp. 116.
- DIAZ, Marco. Evaluación del proyecto estructural y optimización del diseño con disipadores de energía viscosos Taylor para una edificación esencial de 6 pisos. Tesis (ingeniero civil). Trujillo: Universidad Privada Antenor Orrego, Facultad de Ingeniería, 2014. pp. 214.
- CARRANZA, Johan y CALDERON, Edgardo. Reforzamiento de una estructura aporticada con disipadores de fluido viscoso para un mercado en la ciudad de Trujillo. Tesis (ingeniero civil). Trujillo: Universidad Privada Antenor Orrego, Facultad de Ingeniería, 2015. pp. 96.
- RODRIGUEZ, Carlos. Diseño estructural del edificio multifamiliar Las Flores del Golf de 9 niveles empleando disipadores de energía “Shear Link Bozzo”. Tesis (ingeniero civil). Trujillo: Universidad Privada Antenor Orrego, Facultad de Ingeniería, 2017. pp. 160.
- CORPUS, Jorge y MORALES, Edwin. Análisis sísmico comparativo entre un sistema dual y el sistema de reforzamiento con disipadores de fluido viscoso para un edificio en el distrito de Víctor Larco Herrera aplicando Etabs 2013. Tesis (ingeniero civil). Trujillo: Universidad Privada Antenor Orrego, Facultad de Ingeniería, 2015. pp. 102.
- VASQUEZ, Walter. Estudio comparativo del comportamiento estructural de una edificación con y sin disipadores de energía considerando el efecto de la interacción suelo-estructura. Tesis (Ingeniero civil). Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca, Facultad de Ingeniería, 2017. pp. 159.

- VILLARREAL, Genner y OVIEDO, Ricardo. Edificaciones con disipadores de energía. Lima, 2009. pp. 122.
- VILLARREAL, Genner y DIAZ LA ROSA, Marco. Edificaciones con disipadores viscoso. Lima, 2016. pp. 133.
- AGUIAR, Roberto [et. Al]. Análisis sísmico de bloque estructural 4 de UFA-ESPE con disipadores de energía Shear Link Bozzo. Revista CIENCIA, (18): 123-160, 2016.
- BOZZO, Luis y GAXIOLA, Gustavo. El concepto “Rígido-Flexible-Dúctil” y las conexiones SLB. Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica:1-20. 2015.
- BOZZO, Luis. Análisis y diseño de estructura equipadas con disipadores de energía SL. España: Universidad de Girona: 1-17. 2015.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Diseño Sismorresistente E.030. Reglamento Nacional de Edificaciones. Perú. 2018
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Cargas E.020. Reglamento Nacional de Edificaciones. Perú. 2006
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Concreto Armado E.060. Reglamento Nacional de Edificaciones. Perú. 2016
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Estructuras metálicas E.090. Reglamento Nacional de Edificaciones. Perú. 2006
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Condiciones Generales de Diseño A.010. Reglamento Nacional de Edificaciones. Perú. 2014
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Vivienda A.020. Reglamento Nacional de Edificaciones. Perú. 2006
- LUK, Malca y LUQUE, Lizbeth. Influencia del agrietamiento en la respuesta sísmica de edificios aporticados peruanos. Tesis (ingeniero civil). Lima: Pontífice Universidad Católica del Perú, Facultad de Ingeniería, 2011. pp. 48.
- AGUIAR, Roberto. Análisis sísmico por desempeño. CEINCI-ESPE, Ecuador, 2003.
- INSTITUTO MEXICANO DE LA CONSTRUCCION EN ACERO. Tablas de dimensiones y propiedades geométricas de perfiles de acero estructural. México.
- American Society of Civil Engineers Minimum Design Loads for Building and Other Structures ASCE-7-10. Seismic Design Requirement for Structures with Damping Systems. United States, 1801.

- Federal Emergency Management Agency fema 274. nehrp commentary on the guidelines for the seismic rehabilitation of buildings. United States, 1997.
- Dinámica de Estructuras [en línea]. Estados Unidos: University of California at Berkeley, 2014 [fecha de consulta: 24 marzo del 2019].
 Disponible en: <http://F:/FALTA%20REFERENCIAS/Dinamica+de+Estructuras+4Ed+-+Anil+K.+Chopra.pdf>.
 ISSN: 978-607-32-2239-6.
- Protección Sísmica de Estructuras: Sistemas de Aislación Sísmica y Disipación de Energía [en línea] Chile: Corporación de Desarrollo Tecnológico- Cámara chilena de Construcción., 2011 [fecha de consulta: 24 marzo del 2019].
 Disponible en: http://F:/FALTA%20REFERENCIAS/Proteccion_Sismica_de_Estructuras_-_Febrero_2012_CLR_v4.1.pdf.
 ISSN: 978-956-7911-19-6
- New Applications and Development of Active, Semi-Active and Hybrid Control Techniques for Seismic and Non-Seismic Vibration in the Usa. [en línea]: Department of Civil Engineering and Geological Sciences, University of Notre Dame, Notre Dame, 1999 [fecha de consulta: 20 Abril del 2019].
 Disponible en <http://F:/FALTA%20REFERENCIAS/nueva%20aplicaciones%20y%20desarrollo%20de%20tecnicas%20de%20control%20activo,%20semi%20activo%20e%20hibridos.pdf>.
 ISSN: 46556
- Reforzamiento de Estructuras con Disipadores de Energía. [en línea] Ecuador: Instituto Panamericano de Geografía e Historia IPGH, 2016 [fecha de consulta: 25 mayo del 2019]
 Disponible en: <file:///F:/FALTA%20REFERENCIAS/LIBRO%20DE%20REFORZAMIENTO%20ESTRUCTURAL-ECUADOR.pdf>.
 ISSN: 978-9942-9927-6-5.

ANEXOS

Anexo 1: Tabla de diseño básicas de los disipadores SLB-2016.

Device	e	K ₁ (KN/cm)	K ₂ (KN/cm)	d _y (mm)	f _y (kN)	D _y (mm)	F _y (kN)	F _{max} (kN)	D _a (mm)	E _d (KN.cm)
SL5_2	2	546,1	14,4	0,250	13,65	0,463	25,27	47,32	39,93	54
SL5_3	3	663,5	13,4	0,321	21,30	0,549	36,40	56,59	89,87	69
SL5_4	4	763,8	11,8	0,357	27,27	0,628	47,96	65,26	159,83	84
SL5_5	5	834,3	8,8	0,357	29,78	0,716	59,76	72,93	249,81	97
SL10_2	2	1 273,8	22,1	0,250	31,85	0,437	55,68	89,56	29,81	109
SL10_3	3	1 644,4	21,6	0,277	45,55	0,491	80,67	113,62	67,10	146
SL10_4	4	1 979,1	20,1	0,304	60,16	0,540	106,86	136,91	119,35	182
SL10_5	5	2 216,7	17,4	0,331	73,26	0,600	133,00	159,27	186,45	216
SL15_2	2	2 285,9	22,4	0,250	57,15	0,567	129,60	163,04	20,29	216
SL15_3	3	2 929,6	23,3	0,268	78,51	0,565	165,55	200,32	45,66	271
SL15_4	4	3 493,5	22,9	0,286	99,91	0,573	200,20	236,30	81,18	325
SL15_5	5	3 856,1	22,3	0,321	123,78	0,618	238,33	271,48	126,85	377
SL20_2	2	2 971,2	24,1	0,250	74,28	0,536	159,18	195,36	15,96	262
SL20_3	3	3 980,0	24,9	0,268	106,66	0,527	209,68	247,72	35,92	339
SL20_4	4	4 719,3	25,8	0,286	134,97	0,553	261,00	298,88	63,85	414
SL20_5	5	5 262,7	24,0	0,321	168,93	0,596	313,46	349,12	99,77	489
SL25_2	2	3 660,6	24,3	0,250	91,51	0,514	188,18	224,74	14,44	305
SL25_3	3	4 859,0	25,2	0,268	130,22	0,524	254,52	292,09	32,50	404
SL25_4	4	5 921,3	24,7	0,286	169,35	0,544	321,82	358,05	57,79	501
SL25_5	5	6 613,5	24,5	0,321	212,29	0,588	389,20	423,17	90,30	597
SL30_2	2	4 353,6	24,5	0,250	108,84	0,497	216,56	253,78	13,75	348
SL30_3	3	5 791,0	25,5	0,268	155,20	0,513	297,22	336,02	30,93	468
SL30_4	4	7 129,9	25,4	0,286	203,91	0,531	378,46	416,81	54,99	587
SL30_5	5	7 981,8	25,2	0,321	256,21	0,575	459,17	496,73	85,92	704
SL40_2	2	5 820,4	30,9	0,250	145,51	0,490	285,12	331,02	14,02	455
SL40_3	3	7 778,5	32,0	0,268	208,46	0,507	394,44	442,74	31,55	619
SL40_4	4	9 621,2	33,1	0,286	275,17	0,523	503,33	553,98	66,90	781
SL40_5	5	10 777,4	31,8	0,321	345,95	0,570	614,29	662,15	104,53	941
SL50_2	2	7 223,6	32,9	0,250	180,59	0,473	342,00	391,08	13,40	542
SL50_3	3	9 703,1	35,9	0,268	260,04	0,495	480,00	533,58	30,16	749
SL50_4	4	12 109,3	32,7	0,286	346,33	0,514	622,22	671,76	53,62	954
SL50_5	5	13 566,7	31,0	0,321	435,49	0,563	764,00	810,65	83,79	1160

Anexo 2: Tabla de los parámetros de diseño de los disipadores SLB.

PARÁMETROS DE DISEÑO DE DISIPADORES SLB (SHEAR LINK BOZZO)								
Tipo	espesor del disipador (mm)	espesor de ventana (mm)	rigidizador lateral (mm)	K1 (kN/cm)	K2 (kN/cm)	Fy (kN)	Fmáx (kN)	n (yielding exponent)
SLB2 6_2	19	2	13	724	14.5	99.0	126.4	1
SLB2 8_2	19	2	15	980	19.6	129.0	165.4	1
SLB2 8_3	19	3	15	1120	22.4	135.0	177.4	1
SLB2 8_4	19	4	15	1340	26.8	139.0	189.9	1
SLB2 8_5	19	5	15	1420	28.4	148.0	201.8	1
SLB2 8_6	19	6	15	1660	33.2	150.0	213.6	1
SLB2 10_2	19	2	20	1300	26.0	177.0	225.5	1
SLB2 10_3	19	3	20	1600	32.0	183.0	243.1	1
SLB2 10_4	19	4	20	1840	36.8	190.0	259.7	1
SLB2 10_5	19	5	20	2080	41.6	197.0	276.1	1
SLB2 10_6	19	6	20	2320	46.4	203.0	291.8	1
SLB2 15_2	19	2	20	1800	36.0	194.0	262.3	1
SLB2 15_3	19	3	20	2320	46.4	208.0	296.6	1
SLB2 15_4	19	4	20	2800	56.0	223.0	330.2	1
SLB2 15_5	19	5	20	3200	64.0	240.0	363.7	1
SLB2 15_6	19	6	20	3600	72.0	258.0	396.4	1
SLB2 20_2	19	2	25	2760	55.2	268.0	373.2	1
SLB2 20_3	19	3	25	3400	68.0	292.0	422.9	1
SLB2 20_4	19	4	25	4000	80.0	317.0	470.7	1
SLB2 20_5	19	5	25	4600	92.0	340.0	517.9	1
SLB2 20_6	19	6	25	5200	104.0	363.0	563.6	1
SLB2 25_2	19	2	30	3360	67.2	324.0	451.3	1
SLB2 25_3	19	3	30	4280	85.6	352.0	516.9	1
SLB2 25_4	19	4	30	5120	102.4	383.0	580.3	1
SLB2 25_5	19	5	30	5880	117.6	416.0	642.5	1
SLB2 25_6	19	6	30	6720	134.4	444.0	703.1	1
SLB2 30_2	19	2	30	3760	75.2	339.0	482.3	1
SLB2 30_3	19	3	30	4960	99.2	376.0	566.2	1
SLB2 30_4	19	4	30	5560	111.2	435.0	648.0	1
SLB2 30_5	19	5	30	7040	140.8	456.0	728.0	1
SLB2 30_6	19	6	30	7960	159.2	498.0	806.7	1
SLB2 40_2	19	2	30	4720	94.4	371.0	552.5	1
SLB2 40_3	19	3	30	6360	127.2	427.0	672.1	1
SLB2 40_4	19	4	30	7760	155.2	488.0	788.9	1
SLB2 40_5	19	5	30	9200	184.0	546.0	903.2	1
SLB2 40_6	19	6	30	10560	211.2	607.0	1017.5	1
SLB2 50_2	19	2	30	5600	112.0	429.0	644.1	1
SLB2 50_3	19	3	30	7800	156.0	496.0	798.6	1
SLB2 50_4	19	4	30	9680	193.6	574.0	950.0	1
SLB2 50_5	19	5	30	11440	228.8	655.0	1099.3	1
SLB2 50_6	19	6	30	13120	262.4	736.0	1246.8	1

Anexo 3: Distorsión angular de entrepiso en el límite de daño estructural, δ_{ab} en edificios de concreto armado.

Nivel de Diseño	Tipo	Distorsión Angular de Entrepiso en el Límite de Daño Estructural, δ_{ab} en edificios de concreto armado			
		Daño Ligero	Daño moderado	Daño severo	Daño completo
Alto	C1L	0.005	0.01	0.03	0.08
	C1M	0.0033	0.0067	0.02	0.0533
	C1H	0.0025	0.005	0.015	0.04
	C2L	0.004	0.01	0.03	0.08
	C2M	0.0027	0.0067	0.02	0.0533
	C2H	0.002	0.005	0.015	0.04
Moderado	C1L	0.005	0.0087	0.0233	0.06
	C1M	0.0033	0.0058	0.0156	0.04
	C1H	0.0025	0.0043	0.0177	0.03
	C2L	0.004	0.0084	0.0232	0.06
	C2M	0.0027	0.0056	0.0154	0.04
	C2H	0.002	0.0042	0.0116	0.03
Bajo	C1L	0.005	0.008	0.02	0.05
	C1M	0.0033	0.0053	0.0133	0.0333
	C1H	0.0025	0.004	0.01	0.025
	C2L	0.004	0.0076	0.0197	0.05
	C2M	0.0027	0.0051	0.0132	0.0333
	C2H	0.002	0.0038	0.0099	0.025
	C3L	0.003	0.006	0.015	0.035
	C3M	0.002	0.004	0.01	0.0233
	C3H	0.0015	0.003	0.0075	0.0175
Pre-código	C1L	0.004	0.0064	0.016	0.04
	C1M	0.0027	0.0043	0.0107	0.0267
	C1H	0.002	0.0032	0.008	0.02
	C2L	0.0032	0.0061	0.0158	0.04
	C2M	0.0021	0.0041	0.0105	0.0267
	C2H	0.0016	0.0031	0.0079	0.02
	C3L	0.0024	0.0048	0.012	0.028
	C3M	0.0016	0.0032	0.008	0.0187
	C3H	0.0012	0.0024	0.006	0.014

FICHA DE OBSERVACIÓN TÉCNICA

TÍTULO DEL PROYECTO	
NOMBRE DEL INVESTIGADOR RESPONSABLE	
FECHA DE TOMA DE DATOS	
VERSIÓN Y TIPO DE HERRAMIENTA USADA	
DISIPADOR A EVALUAR	

VARIABLE	INDICADORES		DATOS OBTENIDOS	UNIDAD DE MEDIDA
DESEMPEÑO SÍSMICO	1. DESPLAZAMIENTO MÁXIMO EN EL CM EN EL EJE X			mm
	2. DESPLAZAMIENTO MÁXIMO EN EL CM EN EL EJE Y			mm
	3. DISTORSIONES EN EL CM EN EL EJE X DE CADA NIVEL	1er PISO		
		2do PISO		
		3er PISO		
		4to PISO		
		5to PISO		
		6to PISO		
		7mo PISO		
		8vo PISO		
	4. DISTORSIONES EN EL CM EN EL EJE Y DE CADA NIVEL	1er PISO		
		2do PISO		
		3er PISO		

		4to PISO		
		5to PISO		
		6to PISO		
		7mo PISO		
		8vo PISO		
	5. PERIODO FUNDAMENTAL DE LA ESTRUCTURA - MODO 1			seg.
	6. PERIODO DE LA ESTRUCTURA - MODO 2			seg.
	7. PERIODO DE LA ESTRUCTURA - MODO 3			seg.
	8. ACELERACIONES MÁXIMAS EN EL CM EN EL EJE X	1er PISO		m/s ²
		2do PISO		m/s ²
		3er PISO		m/s ²
		4to PISO		m/s ²
		5to PISO		m/s ²
		6to PISO		m/s ²
		7mo PISO		m/s ²
		8vo PISO		m/s ²
	9. ACELERACIONES MÁXIMAS EN EL CM EN EL EJE Y	1er PISO		m/s ²
		2do PISO		m/s ²
		3er PISO		m/s ²
		4to PISO		m/s ²
		5to PISO		m/s ²
		6to PISO		m/s ²
		7mo PISO		m/s ²
		8vo PISO		m/s ²
	10. ENERGÍA DISIPADA			Tn/m

	11. FUERZA CORTANTE EN LA BASE-EJE X		Tn
	12. FUERZA CORTANTE EN LA BASE-EJE Y		Tn
	13. MASAS POR NIVEL	1er PISO	Tn
		2do PISO	Tn
		3er PISO	Tn
		4to PISO	Tn
		5to PISO	Tn
		6to PISO	Tn
		7mo PISO	Tn
		8vo PISO	Tn

Miranda Monroy Yerson Henry

Investigador 1

Ontiberos Beltran Yenifer Gelen

Investigador 2

“ ”

Asesor

Anexo 5: Estudio de mecánica de suelos

INGEOMA ANÁLISIS DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES

"MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN DEL SERVICIO DE ASISTENCIA ALIMENTARIA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO, DISTRITO DE TRUJILLO, PROVINCIA DE TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD"

CALICATA N° 1 - ESTRATO 3 / PROFUND. 3.00 m

FECHA : NOV. 2017

CAPACIDAD DE CARGA

(Terzaghi 1943 y modificado por Vesic 1975)

$$q_u = c N_c S_c + q N_q S_q + \frac{\gamma}{2} B N_\gamma S_\gamma$$

ASENTAMIENTO INICIAL

Teoría Elástica

$$S = C_s q B \left(\frac{1-\nu^2}{E_s} \right)$$

FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA

$$N_c = \cot \phi (N_q - 1)$$

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2 \left(\frac{1}{4} \pi + \frac{1}{2} \phi \right)$$

$$N_\gamma = 2 (N_q + 1) \tan \phi$$

FACTORES DE FORMA (Vesic)

$$S_c = 1 + \frac{B}{L} \frac{N_q}{N_c}$$

$$S_q = 1 + \frac{B}{L} \tan \phi$$

$$S_\gamma = 1 - 0.4 \frac{B}{L} \geq 0.6$$

Peso unitario suelo encima NNF $\gamma' = 1.000$ ton/m³

Peso unitario suelo debajo NNF $\gamma' = 1.787$ ton/m³

Profundidad de cimentación (ZAPATA) 1.50 m

Factor de seguridad 3.00

Prof. cimiento corrido (ingresar dato, si hay) 0.90

Relación de Poisson $\nu' = 0.15$

Módulo de elasticidad del suelo $E_s = 260.00$ kg/cm²

Factor de forma y rigidez cimentación corrida $C_s = 254.00$ cm/m

Factor de forma y rigidez cimentación cuadrada $C_s = 112.00$ cm/m

Factor de forma y rigidez cimentación rectangular $C_s = 153.00$ cm/m

Sobrecarga en la base de la cimentación $q = \gamma D = 1.50$ ton/m²

Sobrecarga en la base del cimiento corrido $q = \gamma D = 0.90$ ton/m²

Considerando Falla Local

por Corte

Angulo de fricción ϕ	cohesión c (kg/cm ²)	N_c	N_q	N_γ (Vesic)	N_q/N_c	$\tan \phi$
25.00	0.017	20.721	10.662	10.876	0.515	0.466

B = Ancho de la cimentación

L = Longitud de cimentación

CIMENTACIÓN CORRIDA		S_c	S_q	S_γ	q_u (kg/cm ²)	q_{ad} (kg/cm ²)	S (cm)
B (m)	L (m)						
0.40	1.00	1.00	1.00	1.00	1.70	0.57	0.23
0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.80	0.60	0.30
0.60	1.00	1.00	1.00	1.00	1.89	0.63	0.38
0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	2.09	0.70	0.55
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.28	0.76	0.76

CIMENTACIÓN CUADRADA		S_c	S_q	S_γ	q_u (kg/cm ²)	q_{ad} (kg/cm ²)	S (cm)
B (m)	L (m)						
1.20	1.20	1.51	1.47	0.60	3.58	1.19	0.63
1.30	1.30	1.51	1.47	0.60	3.64	1.21	0.69
1.50	1.50	1.51	1.47	0.60	3.75	1.25	0.82
2.00	2.00	1.51	1.47	0.60	4.04	1.35	1.18
3.00	3.00	1.51	1.47	0.60	4.63	1.54	2.03

CIMENTACIÓN RECTANGULAR		S_c	S_q	S_γ	q_u (kg/cm ²)	q_{ad} (kg/cm ²)	S (cm)
B (m)	L (m)						
1.00	1.50	1.34	1.31	0.73	3.28	1.09	0.65
1.50	1.80	1.43	1.39	0.67	3.70	1.23	1.11
3.00	3.50	1.44	1.40	0.66	4.66	1.55	2.79
4.00	6.00	1.34	1.31	0.73	5.42	1.81	4.32

Se puede considerar como valor único de diseño:

$q_{admisible} =$	1.19 kg/cm ²
$Q_{admisible} =$	11.93 tn/m ²
$Q =$	17.89 tn/m
$S =$	0.82 cm

CARGA ADMISIBLE BRUTA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO

SUCS	:	SP (ARENA MAL GRADUADA)		
AASHTO	:	A-1-b (0)		
COLOR		Ø "	c (Kg/cm ²)	P. u. (Tn/m ²)
MARRON CLARO		25	0.017	1.787

INGEOMA

Ing. Roberto Carlos Salazar Alcalde
JEFE DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

DIRECCIÓN: Mz. I Bloque "D" DPTO 101 Urb. Vista Hermosa - Trujillo
Av. Prolong. Juan Pablo II

RPM: #948461203 RPC: 992363278 TEL.: 044 601374

email: ingeoma_sac@outlook.es

f ingeoma_sac

ANÁLISIS DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES

"MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN DEL SERVICIO DE ASISTENCIA ALIMENTARIA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO, DISTRITO DE TRUJILLO, PROVINCIA DE TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD"

CALICATA Nº 2 - ESTRATO 3 / PROFUND. 3.00 m

FECHA : NOV. 2017

CAPACIDAD DE CARGA

(Terzaghi 1943 y modificado por Vesic 1975)

$$q_u = c N_c S_c + q N_q S_q + \frac{\gamma}{2} B N_\gamma S_\gamma$$

ASENTAMIENTO INICIAL

Teoría Elástica

$$S = C_s q B \left(\frac{1 - \nu^2}{E_s} \right)$$

FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA

$$N_c = \cot \phi (N_q - 1)$$

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2 \left(\frac{1}{4} \pi + \frac{1}{2} \phi \right)$$

$$N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \phi$$

FACTORES DE FORMA (Vesic)

$$S_c = 1 + \frac{B}{L} \frac{N_q}{N_c}$$

$$S_q = 1 + \frac{B}{L} \tan \phi$$

$$S_\gamma = 1 - 0.4 \frac{B}{L} \quad \geq 0.6$$

Peso unitario suelo encima NNF $\gamma' = 1.000$ ton/m3

Peso unitario suelo debajo NNF $\gamma' = 1.625$ ton/m3

Profundidad de cimentación (ZAPATA) $\gamma' = 1.50$ m

Factor de seguridad $\gamma' = 3.00$

Prof. cimiento corrido (ingresar dato, si hay) $\gamma' = 0.90$

Relación de Poisson $\nu = 0.15$

Módulo de elasticidad del suelo $E_s = 250.00$ kg/cm2

Factor de forma y rigidez cimentación corrida $C_s = 254.00$ cm/m

Factor de forma y rigidez cimentación cuadrada $C_s = 112.00$ cm/m

Factor de forma y rigidez cimentación rectangular $C_s = 163.00$ cm/m

Sobrecarga en la base de la cimentación $q = \gamma D = 1.50$ ton/m2

Sobrecarga en la base del cimiento corrido $q = \gamma D = 0.90$ ton/m2

Considerando Falta Local por Corte

Angulo de cohesión $\phi = 25.00$

fricción $c = 0.017$ kg/cm2

$N_c = 20.721$

$N_q = 10.662$

$N_\gamma (\text{Vesic}) = 10.876$

$N_q/N_c = 0.515$

$\tan \phi = 0.466$

B = Ancho de la cimentación

L = Longitud de cimentación

CIMENTACIÓN CORRIDA

B (m)	L (m)	S_c	S_q	S_γ	q_u (kg/cm2)	q_{ad} (kg/cm2)	S (cm)
0.40	1.00	1.00	1.00	1.00	1.67	0.56	0.22
0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.75	0.58	0.29
0.60	1.00	1.00	1.00	1.00	1.84	0.61	0.37
0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	2.02	0.67	0.53
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.20	0.73	0.73

CIMENTACIÓN CUADRADA

B (m)	L (m)	S_c	S_q	S_γ	q_u (kg/cm2)	q_{ad} (kg/cm2)	S (cm)
1.20	1.20	1.51	1.47	0.60	3.51	1.17	0.63
1.30	1.30	1.51	1.47	0.60	3.57	1.19	0.68
1.50	1.50	1.51	1.47	0.60	3.67	1.22	0.80
2.00	2.00	1.51	1.47	0.60	3.94	1.31	1.15
3.00	3.00	1.51	1.47	0.60	4.47	1.49	1.96

CIMENTACIÓN RECTANGULAR

B (m)	L (m)	S_c	S_q	S_γ	q_u (kg/cm2)	q_{ad} (kg/cm2)	S (cm)
1.00	1.50	1.34	1.31	0.73	3.22	1.07	0.64
1.50	1.50	1.43	1.39	0.67	3.61	1.20	1.08
3.00	3.50	1.44	1.40	0.66	4.49	1.50	2.69
4.00	6.00	1.34	1.31	0.73	5.16	1.72	4.12

Se puede considerar como valor único de diseño:

$$q_{admisible} = 1.17 \text{ kg/cm}^2$$

$$q_{admisible} = 11.72 \text{ tn/m}^2$$

CARGA ADMISIBLE BRUTA

$$Q = 17.57 \text{ tn/m}$$

$$S = 0.80 \text{ cm}$$

Ing. Roberto Carlos Salazar Alcalde
JEFE DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO

SUCS	:	SP (ARENA MAL GRADUADA)		
AASHTO	:	A-1-b (0)		
COLOR		ϕ°	c (Kg/cm ³)	P. u. (Tn/m ³)
MARRON CLARO		25	0.017	1.625

DIRECCIÓN: Mz. I Bloque "D" DPTO 101 Urb. Vista Hermosa - Trujillo
Av. Prolong. Juan Pablo II

RPM: #948461203 RPC: 992363278 TEL.: 044 601374

email: ingeoma_sac@outlook.es

f ingeoma_sac

ANÁLISIS DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES

"MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN DEL SERVICIO DE ASISTENCIA ALIMENTARIA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO, DISTRITO DE TRUJILLO, PROVINCIA DE TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD"

CALICATA N° 3 - ESTRATO 3 / PROFUND. 3.00 m

FECHA : NOV. 2017

CAPACIDAD DE CARGA

(Terzaghi 1943 y modificado por Vesic 1975)

$$q_u = c N_c S_c + q N_q S_q + \frac{\gamma B}{2} N_\gamma S_\gamma$$

ASENTAMIENTO INICIAL

Teoría Elástica

$$S = C_s q B \left(\frac{1 - \nu^2}{E_s} \right)$$

FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA

$$N_c = \cot \phi (N_q - 1)$$

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2 \left(\frac{1}{4} \pi + \frac{1}{2} \phi \right)$$

$$N_\gamma = 2 (N_q + 1) \tan \phi$$

FACTORES DE FORMA (Vesic)

$$S_c = 1 + \frac{B N_q}{L N_c}$$

$$S_q = 1 + \frac{B}{L} \tan \phi$$

$$S_\gamma = 1 - 0.4 \frac{B}{L} \quad \geq 0.6$$

Peso unitario suelo encima NNF $\gamma' = 1.000$ ton/m³
 Peso unitario suelo debajo NNF $\gamma' = 1.831$ ton/m³
 Profundidad de cimentación (ZAPATA) $\gamma' = 1.50$ m
 Factor de seguridad $\gamma' = 3.00$
 Prof. cimiento corrido (ingresar dato, si hay) $\gamma' = 0.90$

Relación de Poisson $\nu' = 0.15$
 Módulo de elasticidad del suelo $E_s = 250.00$ kg/cm²
 Factor de forma y rigidez cimentación corrida $C_s = 254.00$ cm/m
 Factor de forma y rigidez cimentación cuadrada $C_s = 112.00$ cm/m
 Factor de forma y rigidez cimentación rectangular $C_s = 153.00$ cm/m

Sobrecarga en la base de la cimentación $q = \gamma D = 1.50$ ton/m²
 Sobrecarga en la base del cimiento corrido $q = \gamma D = 0.90$ ton/m²

Considerando Falla Local
 por Corte

Angulo de fricción $\phi = 25.00$
 Cohesión $c = 0.017$ kg/cm²
 Nc 20.721
 Nq 10.662
 Ny (Vesic) 10.876
 Nq/Nc 0.515
 Tan $\phi = 0.466$

B = Ancho de la cimentación
 L = Longitud de cimentación

CIMENTACION CORRIDA		Sc	Sq	Sy	qu (kg/cm ²)	qad (kg/cm ²)	S (cm)
B (m)	L (m)						
0.40		1.00	1.00	1.00	1.67	0.56	0.22
0.50		1.00	1.00	1.00	1.76	0.59	0.29
0.60		1.00	1.00	1.00	1.84	0.61	0.37
0.80		1.00	1.00	1.00	2.02	0.67	0.54
1.00		1.00	1.00	1.00	2.20	0.73	0.73

CIMENTACION CUADRADA		Sc	Sq	Sy	qu (kg/cm ²)	qad (kg/cm ²)	S (cm)
B (m)	L (m)						
1.20	1.20	1.51	1.47	0.60	3.52	1.17	9.52
1.30	1.30	1.51	1.47	0.60	3.57	1.19	0.68
1.50	1.50	1.51	1.47	0.60	3.68	1.23	0.81
2.00	2.00	1.51	1.47	0.60	3.94	1.31	1.15
3.00	3.00	1.51	1.47	0.60	4.48	1.49	1.96

CIMENTACION RECTANGULAR		Sc	Sq	Sy	qu (kg/cm ²)	qad (kg/cm ²)	S (cm)
B (m)	L (m)						
1.00	1.50	1.34	1.31	0.73	3.22	1.07	0.64
1.50	1.80	1.43	1.39	0.67	3.61	1.20	1.08
3.00	3.50	1.44	1.40	0.66	4.49	1.50	2.69
4.00	6.00	1.34	1.31	0.73	5.17	1.72	4.12

Se puede considerar como valor único de diseño:

$q_{admisible} = 1.17$ kg/cm²
 $q_{admisible} = 11.72$ tn/m²
 $Q = 17.59$ tn/m
 $S = 0.81$ cm

CARGA ADMISIBLE BRUTA

INGEOMA

Ing. Roberto Carlos Salazar Alcalde
 JEFE DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO			
SUCS	:	SP (ARENA MAL GRADUADA)	
AASHTO	:	A-3 (0)	
COLOR	ϕ^*	c (Kg/cm ³)	P. u. (Tn/m ³)
CREMA	25	0.017	1.831

DIRECCIÓN: Mz. I Bloque "D" DPTO 101 Urb. Vista Hermosa - Trujillo
 Av. Prolong. Juan Pablo II

RPM: #948461203 RPC: 992363278 TEL.: 044 601374

email: ingeoma_sac@outlook.es

f ingeoma_sac

ANÁLISIS DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES

"MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN DEL SERVICIO DE ASISTENCIA ALIMENTARIA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO, DISTRITO DE TRUJILLO, PROVINCIA DE TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD"

CALICATA N° 4 - ESTRATO 3 / PROFUND. 3.00 m

FECHA : NOV. 2017

CAPACIDAD DE CARGA

(Terzaghi 1943 y modificación por Vesic 1975)

$$q_u = c N_c S_c + q N_q S_q + \frac{\gamma}{2} B N_\gamma S_\gamma$$

ASENTAMIENTO INICIAL

Teoría Elástica

$$S = C_s q B \left(\frac{1 - \nu^2}{E_s} \right)$$

FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA

$$N_c = \cot \phi (N_q - 1)$$

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2 \left(\frac{1}{4} \pi + \frac{1}{2} \phi \right)$$

$$N_\gamma = 2 (N_q + 1) \tan \phi$$

FACTORES DE FORMA (Vesic)

$$S_c = 1 + \frac{B}{L} \frac{N_q}{N_c}$$

$$S_q = 1 + \frac{B}{L} \tan \phi$$

$$S_\gamma = 1 - 0.4 \frac{B}{L} \quad \geq 0.6$$

Peso unitario suelo encima NNF $\gamma' = 1.000$ ton/m³
 Peso unitario suelo debajo NNF $\gamma' = 1.603$ ton/m³
 Profundidad de cimentación (ZAPATA) 1.50 m
 Factor de seguridad 3.00
 Prof. cimiento corrido (ingresar dato, si hay) 0.90

Relación de Poisson $\nu = 0.15$
 Módulo de elasticidad del suelo $E_s = 250.00$ kg/cm²
 Factor de forma y rigidez cimentación corrida $C_s = 254.00$ cm/m
 Factor de forma y rigidez cimentación cuadrada $C_s = 112.00$ cm/m
 Factor de forma y rigidez cimentación rectangular $C_s = 153.00$ cm/m

Sobrecarga en la base de la cimentación $q = \gamma D = 1.50$ ton/m²
 Sobrecarga en la base del cimiento corrido $q = \gamma D = 0.90$ ton/m²

Considerando Falla Local

por Corte

Angulo de fricción $\phi = 25.00$
 Cohesión $c = 0.017$ kg/cm²
 $N_c = 20.721$
 $N_q = 10.662$
 N_γ (Vesic) 10.876
 $N_q/N_c = 0.515$
 $\tan \phi = 0.466$

B = Ancho de la cimentación
 L = Longitud de cimentación

CIMENTACION CORRIDA								
B (m)	L (m)	S_c	S_q	S_γ	q_u (kg/cm ²)	q_{ad} (kg/cm ²)	S (cm)	
0.40		1.00	1.00	1.00	1.66	0.55	0.22	
0.50		1.00	1.00	1.00	1.75	0.58	0.29	
0.60		1.00	1.00	1.00	1.83	0.61	0.36	
0.80		1.00	1.00	1.00	2.01	0.67	0.53	
1.00		1.00	1.00	1.00	2.18	0.73	0.72	

CIMENTACION CUADRADA								
B (m)	L (m)	S_c	S_q	S_γ	q_u (kg/cm ²)	q_{ad} (kg/cm ²)	S (cm)	
1.20	1.20	1.51	1.47	0.60	3.51	1.17	0.61	
1.30	1.30	1.51	1.47	0.60	3.56	1.19	0.68	
1.50	1.50	1.51	1.47	0.60	3.66	1.22	0.80	
2.00	2.00	1.51	1.47	0.60	3.92	1.31	1.15	
3.00	3.00	1.51	1.47	0.60	4.45	1.48	1.95	

CIMENTACION RECTANGULAR								
B (m)	L (m)	S_c	S_q	S_γ	q_u (kg/cm ²)	q_{ad} (kg/cm ²)	S (cm)	
1.00	1.50	1.34	1.31	0.73	3.21	1.07	0.64	
1.50	1.80	1.43	1.39	0.67	3.60	1.20	1.08	
3.00	3.50	1.44	1.40	0.66	4.46	1.49	2.67	
4.00	6.00	1.34	1.31	0.73	5.13	1.71	4.09	

Se puede considerar como valor único de diseño:

$q_{admisible} = 1.17$ kg/cm²
 $q_{admisible} = 11.69$ tn/m²
 CARGA ADMISIBLE BRUTA $Q = 17.53$ tn/m
 $S = 0.80$ cm

INGEOMA

Ing. Roberto Carlos Salazar Alcalde
 APE DE LA ASOCIACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO			
SUCS	:	SP (ARENA MAL GRADUADA)	
AASHTO	:	A-3 (0)	
COLOR		ϕ^*	c (Kg/cm ³)
CREMA	25		0.017
			1.603

DIRECCIÓN: Mz. I Bloque "D" DPTO 101 Urb. Vista Hermosa - Trujillo
 Av. Prolong. Juan Pablo II

RPM: #948461203 RPC: 992363278 TEL.: 044 601374

email: ingeoma_sac@outlook.es

f ingeoma_sac

ANALISIS DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES

"MEJORAMIENTO Y AMPLIACION DEL SERVICIO DE ASISTENCIA ALIMENTARIA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO, DISTRITO DE TRUJILLO, PROVINCIA DE TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD"

CALICATA N° 5 - ESTRATO 3 / PROFUND. 3.00 m

FECHA : NOV. 2017

CAPACIDAD DE CARGA

(Terzaghi 1943 y modificado por Vesic 1975)

$$q_u = c N_c S_c + q N_q S_q + \frac{\gamma B}{2} N_\gamma S_\gamma$$

ASENTAMIENTO INICIAL

Teoría Elástica

$$S = C_s q B \left(\frac{1 - \nu^2}{E_s} \right)$$

FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA

$$N_c = \cot \phi (N_q - 1)$$

$$N_q = e^{\tan \phi} \tan^2 \left(\frac{1}{4} \pi + \frac{1}{2} \phi \right)$$

$$N_\gamma = 2 (N_q + 1) \tan \phi$$

FACTORES DE FORMA (Vesic)

$$S_c = 1 + \frac{B N_q}{L N_c}$$

$$S_q = 1 + \frac{B}{L} \tan \phi$$

$$S_\gamma = 1 - 0.4 \frac{B}{L} \quad > 0.6$$

Peso unitario suelo encima NNF $\gamma' = 1.009$ ton/m3
 Peso unitario suelo debajo NNF $\gamma' = 1.515$ ton/m3
 Profundidad de cimentación (ZAPATA) $\gamma' = 1.50$ m
 Factor de seguridad $\gamma' = 3.00$
 Prof. cimiento corrido (ingresar dato, si hay) $\gamma' = 0.90$

Relación de Poisson $\nu = 0.15$
 Módulo de elasticidad del suelo $E_s = 250.00$ kg/cm2
 Factor de forma y rigidez cimentación corrida $C_s = 254.00$ cm/m
 Factor de forma y rigidez cimentación cuadrada $C_s = 112.00$ cm/m
 Factor de forma y rigidez cimentación rectangular $C_s = 153.00$ cm/m

Sobrecarga en la base de la cimentación $q = \gamma D = 1.50$ ton/m2
 Sobrecarga en la base del cimiento corrido $q = \gamma D = 0.90$ ton/m2

Considerando Falla Local por Corte

Angulo de fricción $\phi = 25.00$
 Cohesión $c = 0.017$ kg/cm2
 Nc 20.721
 Nq 10.062
 Ny (Vesic) 10.876
 Nq/Nc 0.515
 Tan ϕ 0.460

B = Ancho de la cimentación
 L = Longitud de cimentación

CIMENTACIÓN CORRIDA

B (m)	L (m)	Sc	Sq	Sy	qu (kg/cm2)	qad (kg/cm2)	S (cm)
0.40	1.00	1.00	1.00	1.00	1.64	0.55	0.22
0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.72	0.57	0.29
0.60	1.00	1.00	1.00	1.00	1.81	0.60	0.36
0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	1.97	0.66	0.52
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.14	0.71	0.71

CIMENTACIÓN CUADRADA

B (m)	L (m)	Sc	Sq	Sy	qu (kg/cm2)	qad (kg/cm2)	S (cm)
1.20	1.20	1.51	1.47	0.60	3.47	1.16	0.61
1.30	1.30	1.51	1.47	0.60	3.52	1.17	0.67
1.50	1.50	1.51	1.47	0.60	3.62	1.21	0.79
2.00	2.00	1.51	1.47	0.60	3.87	1.29	1.13
3.00	3.00	1.51	1.47	0.60	4.36	1.45	1.91

CIMENTACIÓN RECTANGULAR

B (m)	L (m)	Sc	Sq	Sy	qu (kg/cm2)	qad (kg/cm2)	S (cm)
1.00	1.50	1.34	1.31	0.73	3.17	1.06	0.63
1.50	1.80	1.43	1.39	0.67	3.55	1.16	1.06
3.00	3.50	1.44	1.40	0.66	4.37	1.46	2.61
4.00	6.00	1.34	1.31	0.73	4.99	1.66	3.98

Se puede considerar como valor único de diseño:

$q_{admisible} = 1.16$ kg/cm2
 $q_{admisible} = 11.57$ tn/m2
 $Q = 17.36$ tn/m
 $S = 0.79$ cm

CARGA ADMISIBLE BRUTA

CARACTERISTICAS FISICAS DEL SUELO

SUCS	SP (ARENA MAL GRADUADA)
AASHTO	A-3 (0)
COLOR	25
CREMA	0.017
ϕ	25
c (kg/cm2)	0.017
P. u. (Tn/m2)	1.515

INGEOMA

Ing. Roberto Carlos Salazar Alcalde
 JEFE DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

DIRECCIÓN: Mz. I Bloque "D" DPTO 101 Urb. Vista Hermosa - Trujillo
 Av. Prolong. Juan Pablo II

RPM: #948461203 RPC: 992363278 TEL.: 044 601374

email: ingeoma_sac@outlook.es

f ingeoma_sac

Anexo 6: Irregularidad de rigidez o piso blando.

PISOS	RIGIDEZ LATERAL		COMPARACIÓN 1		COMPARACIÓN 2		IRREGULARIDAD	
	Kx (tn/m)	Ky (tn/m)	Kx i/Kx i+1	Ky i/Ky i+1	Kx i/ (Kx i+1)+(Kx i+2)+(Kx i+3)	Ky i/ (Ky i+1)+(Ky i+2)+(Ky i+3)	XX	YY
PISO 1	230028.261	323940.935	186.44%	178.87%	234.79%	233.49%	OK	OK
PISO 2	123382.003	181103.787	132.80%	137.84%	155.86%	170.30%	OK	OK
PISO 3	92910.109	131384.78	119.68%	126.67%	138.59%	155.34%	OK	OK
PISO 4	77629.553	103724.855	115.97%	123.59%	139.75%	157.97%	OK	OK
PISO 5	66940.345	83926.924	118.38%	127.00%	162.63%	183.38%	OK	OK
PISO 6	56549.138	66086.698	131.01%	140.70%	168.97%	185.60%	OK	OK
PISO 7	43163.067	46970.406	181.57%	193.73%	181.57%	193.73%	OK	OK
PISO 8	23772.301	24245.411	-	-	-	-	-	-
Factor de Irregularidad =							1.00	1.00

Anexo 7: Irregularidad de masa.

PISOS	PESOS (tn)	COMPARACIÓN 1	COMPARACIÓN 2	IRREGULARIDAD
		Px i/Px i+1	Px i+1/Px i	
PISO 1	344.554	1.020	-	OK
PISO 2	337.643	1.000	0.980	OK
PISO 3	337.643	1.000	1.000	OK
PISO 4	337.643	1.000	1.000	OK
PISO 5	337.643	1.000	1.000	OK
PISO 6	337.643	1.000	1.000	OK
PISO 7	337.643	1.159	1.000	OK
PISO 8	291.203	-	0.862	OK
Factor de Irregularidad =				1.00

Anexo 8: Irregularidad geométrica.

PISOS	DIMENSIÓN DE ESTRUC. RESIST.		COMPARACIÓN				IRREGULARIDAD	
	XX	YY	XX		YY		XX	YY
PISO 1	16	20	1.000	-	1.000	-	OK	OK
PISO 2	16	20	1.000	1.000	1.000	1.000	OK	OK
PISO 3	16	20	1.000	1.000	1.000	1.000	OK	OK
PISO 4	16	20	1.000	1.000	1.000	1.000	OK	OK
PISO 5	16	20	1.000	1.000	1.000	1.000	OK	OK
PISO 6	16	20	1.000	1.000	1.000	1.000	OK	OK
PISO 7	16	20	1.000	1.000	1.000	1.000	OK	OK
PISO 8	16	20	-	1.000	-	1.000	-	-
Factor de Irregularidad =							1.00	1.00

Anexo 9: Irregularidad torsional.

PISOS	DESP. CM ABSOLUTO (m)		DESP. CM RELATIVO (m)		DESP. MÁX ABSOLUTO (m)		DESP. MÁX RELATIVO (m)		COMPARACIÓN 1		IRREGULARIDAD	
	XX	YY	XX	YY	XX	YY	XX	YY	XX	YY	XX	YY
PISO 1	0.0030	0.0023	0.0030	0.0023	0.0036	0.0027	0.0036	0.0027	1.1663	1.2004	OK	TORSIONAL
PISO 2	0.0086	0.0062	0.0055	0.0039	0.0098	0.0075	0.0063	0.0048	1.1388	1.2313	OK	TORSIONAL
PISO 3	0.0154	0.0113	0.0069	0.0051	0.0175	0.0138	0.0077	0.0063	1.1194	1.2333	OK	TORSIONAL
PISO 4	0.0228	0.0171	0.0074	0.0058	0.0257	0.0210	0.0082	0.0072	1.0996	1.2254	OK	TORSIONAL
PISO 5	0.0303	0.0234	0.0074	0.0062	0.0337	0.0286	0.0080	0.0076	1.0801	1.2153	OK	TORSIONAL
PISO 6	0.0373	0.0297	0.0070	0.0063	0.0411	0.0362	0.0074	0.0076	1.0592	1.2036	OK	TORSIONAL
PISO 7	0.0437	0.0360	0.0064	0.0063	0.0477	0.0437	0.0066	0.0075	1.0353	1.1929	OK	OK
PISO 8	0.0495	0.0420	0.0058	0.0061	0.0536	0.0508	0.0058	0.0071	1.0002	1.1792	OK	OK
Factor de Irregularidad =											1	0.75

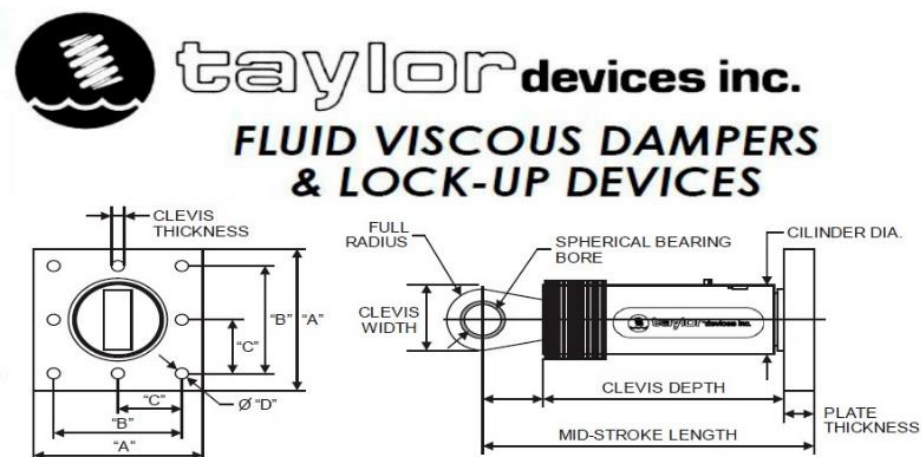
Anexo 10: Irregularidad torsional extrema.

PISOS	DESP. ABSOLUTO PROM. (m)		DESP. RELATIVO PROM. (m)		DESP. MÁX ABSOLUTO (m)		DESP. MÁX RELATIVO (m)		COMPARACIÓN 1		IRREGULARIDAD	
	XX	YY	XX	YY	XX	YY	XX	YY	XX	YY	XX	YY
PISO 1	0.0030	0.0023	0.0030	0.0023	0.0036	0.0027	0.0036	0.0027	1.1709	1.2004	OK	OK
PISO 2	0.0085	0.0062	0.0055	0.0039	0.0098	0.0075	0.0063	0.0048	1.1430	1.2316	OK	OK
PISO 3	0.0154	0.0113	0.0068	0.0051	0.0175	0.0138	0.0077	0.0063	1.1227	1.2335	OK	OK
PISO 4	0.0228	0.0171	0.0074	0.0058	0.0257	0.0210	0.0082	0.0072	1.1025	1.2256	OK	OK
PISO 5	0.0302	0.0234	0.0074	0.0062	0.0337	0.0286	0.0080	0.0076	1.0822	1.2155	OK	OK
PISO 6	0.0372	0.0297	0.0070	0.0063	0.0411	0.0362	0.0074	0.0076	1.0609	1.2038	OK	OK
PISO 7	0.0436	0.0359	0.0064	0.0063	0.0477	0.0437	0.0066	0.0075	1.0362	1.1931	OK	OK
PISO 8	0.0493	0.0420	0.0058	0.0060	0.0536	0.0508	0.0058	0.0071	1.0126	1.1859	OK	OK
Factor de Irregularidad =											1	1

Anexo 11: Irregularidad de esquinas entrantes.

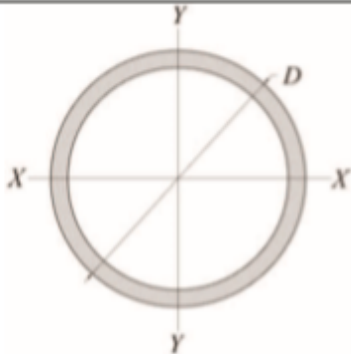
PISOS	DIMENSIÓN TOTAL (m)		ESQUINAS ENTRANTES (m)		COMPARACIÓN		IRREGULARIDAD	
	X	Y	X	Y	X	Y	XX	YY
PISO 1	16	20	0	1.08	0.00%	5.40%	OK	OK
PISO 2	16	20	0	1.08	0.00%	5.40%	OK	OK
PISO 3	16	20	0	1.08	0.00%	5.40%	OK	OK
PISO 4	16	20	0	1.08	0.00%	5.40%	OK	OK
PISO 5	16	20	0	1.08	0.00%	5.40%	OK	OK
PISO 6	16	20	0	1.08	0.00%	5.40%	OK	OK
PISO 7	16	20	0	1.08	0.00%	5.40%	OK	OK
PISO 8	16	20	0	1.08	0.00%	5.40%	OK	OK
Factor de Irregularidad =							1	1

Anexo 12: Medidas comerciales de los elementos del Disipador Taylor.



FUERZA (Tn)	SPHERICAL BEARING BORE DIAMETER (meter)	MD- STROKE LENGTH (meter)	CLEVIS THICKNESS (meter)	CLEVIS WIDTH (meter)	CLEVIS DEPTH (meter)	CYLINDER DIAMETER (meter)	WEIGHT (Kg)	"A" (meter)	"B" (meter)	"C" (meter)	"D" (meter)	PLATE TICKNESS (meter)
24.94756	0.04	0.78	0.041	0.10 MAX	0.08	0.10 MAC	44.45	0.1750	0.1250	*	0.0203	0.038
49.89512	0.05	0.98	0.053	0.125 MAX	0.10	0.125 MAX	97.52	0.2780	0.2000	*	0.0313	0.038
74.84268	0.06	1.00	0.056	0.15 MAX	0.13	0.175 MAX	181.44	0.3375	0.2500	0.1250	0.0280	0.060
99.79024	0.07	1.03	0.069	0.175 MAX	0.15	0.20 MAX	254.01	0.4125	0.3125	0.1563	0.0313	0.075
149.68536	0.08	1.09	0.075	0.20 MAX	0.16	0.225 MAX	306.17	0.4250	0.3250	0.1625	0.0344	0.075
199.58048	0.09	1.33	0.088	0.225 MAX	0.19	0.75MAX	453.59	0.4500	0.3375	0.1688	0.0375	0.100
306.1746	0.10	1.42	0.113	0.28 MAX	0.20	0.325 MAX	793.79	0.5000	0.4000	0.2000	0.0408	0.100
408.2328	0.13	1.60	0.138	0.30 MAX	0.27	0.40 MAX	1088.62	*	*	*	*	*
657.7084	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
816.4656	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Anexo 13: Propiedades físicas y mecánicas del perfil metálico del dissipador Taylor.

OC		imca										
PTE CIRCULAR		DIMENSIONES Y PROPIEDADES GEOMÉTRICAS										
Designación <i>D x t</i>		<i>t</i> diseño	Peso		Área	Pandeo local	$\overline{X - X}$ <i>y</i>		$\overline{Y - Y}$		Torsión	
mm x mm	in x in	cm	kg / m	lb / pie	cm ²	<i>D / t</i>	<i>I</i> cm ⁴	<i>Z</i> cm ³	<i>S</i> cm ³	<i>r</i> cm	<i>J</i> cm ⁴	<i>C</i> cm ³
178 x 3.2	7 x 0.12	0.29	13.67	9.18	16.19	61.31	620.18	90.13	69.65	6.17	1,236.21	139.13
x 4.8	x 0.18	0.44	20.38	13.69	24.06	40.41	903.22	132.90	101.76	6.12	1,810.61	203.20
x 6.4	x 0.25	0.59	26.85	18.04	31.94	30.14	1,182.10	175.34	132.90	6.07	2,364.19	265.47
x 7.9	x 0.31	0.74	33.20	22.30	39.55	24.03	1,440.16	214.67	161.90	6.02	2,876.16	324.46
x 9.5	x 0.37	0.89	39.53	26.56	47.03	19.98	1,681.57	254.00	190.09	5.97	3,367.31	378.54
x 12.7	x 0.50	1.18	51.72	34.75	61.61	15.07	2,131.10	326.10	239.25	5.89	4,245.56	480.14
190 x 4.8	7.50 x 0.18	0.44	21.87	14.69	25.81	43.30	1,119.66	153.06	117.50	6.58	2,239.33	234.34
x 6.4	x 0.25	0.59	28.84	19.37	34.32	32.29	1,465.13	201.56	153.55	6.53	2,926.11	306.44
x 7.9	x 0.31	0.74	35.69	23.98	42.52	25.74	1,785.63	247.44	186.81	6.48	3,571.27	375.26
x 9.5	x 0.37	0.89	42.52	28.56	50.58	21.40	2,089.48	293.33	219.59	6.43	4,162.31	439.17
x 12.7	x 0.50	1.18	55.69	37.41	66.45	16.14	2,659.72	376.90	278.58	6.32	5,327.76	558.80
194 x 8.3	8.62 x 0.32	0.77	38.09	25.59	45.23	28.45	1,960.45	268.75	201.56	6.58	3,916.74	404.76
x 9.5	x 0.37	0.89	43.26	29.06	51.48	24.62	2,201.86	303.16	227.78	6.55	4,412.05	455.56
219 x 4.8	8.62 x 0.18	0.44	25.24	16.96	29.81	49.80	1,719.04	203.20	156.82	7.59	3,433.91	312.99
x 6.4	x 0.25	0.59	33.32	22.38	39.61	37.14	2,251.81	268.75	204.84	7.54	4,495.30	411.32
x 8.2	x 0.31	0.76	42.54	28.58	50.65	28.83	2,834.54	340.85	258.92	7.49	5,660.75	517.83
x 9.5	x 0.37	0.89	49.23	33.07	58.52	24.62	3,238.28	391.65	294.97	7.44	6,493.21	591.57
x 12.7	x 0.50	1.18	64.64	43.43	76.77	18.57	4,162.31	508.00	378.54	7.34	8,283.01	757.08
x 15.9	x 0.62	1.48	79.56	53.45	94.84	14.80	4,953.15	617.79	453.92	7.24	9,947.93	907.84
244 x 4.8	9.62 x 0.18	0.44	28.23	18.96	33.35	55.57	2,401.66	254.00	196.64	8.48	4,786.66	393.29
x 6.4	x 0.25	0.59	37.30	25.06	44.32	41.44	3,159.20	337.57	258.92	8.43	6,326.72	516.19
x 7.9	x 0.31	0.74	46.24	31.06	55.03	33.04	3,870.95	416.23	316.27	8.38	7,741.90	634.18
x 9.5	x 0.37	0.89	55.20	37.08	65.81	27.47	4,578.55	491.61	373.63	8.33	9,115.47	745.61
x 12.7	x 0.50	1.18	72.60	48.77	86.45	20.72	5,868.86	639.10	478.50	8.23	11,696.10	958.64
254 x 4.8	10 x 0.18	0.44	29.35	19.72	34.65	57.73	2,697.18	275.30	213.03	8.81	5,411.01	424.42
x 6.4	x 0.25	0.59	38.79	26.06	46.13	43.05	3,550.45	363.79	280.22	8.76	7,117.56	558.80
x 7.9	x 0.31	0.74	48.10	32.31	57.29	34.32	4,370.43	449.01	342.49	8.71	8,699.24	686.62
x 9.5	x 0.37	0.89	57.43	38.58	68.39	28.54	5,119.65	532.58	404.76	8.66	10,280.92	807.88
x 12.7	x 0.50	1.18	75.58	50.77	89.68	21.53	6,618.08	693.17	519.47	8.59	13,194.54	1,040.58
x 15.9	x 0.62	1.48	93.24	62.64	110.97	17.16	7,950.02	845.57	627.62	8.48	15,941.66	1,255.25
273 x 6.4	10.7 x 0.25	0.59	41.77	28.06	49.68	46.29	4,412.05	422.79	324.46	9.45	8,865.73	648.93
x 9.5	x 0.37	0.89	61.91	41.59	73.55	30.69	6,409.96	619.43	470.31	9.35	12,861.55	940.62
x 12.7	x 0.50	1.18	81.55	54.79	96.77	23.14	8,283.01	806.24	606.32	9.25	16,566.01	1,214.28
324 x 6.4	12.7 x 0.25	0.59	49.73	33.41	59.10	54.90	7,492.17	598.13	462.12	11.25	14,942.71	922.59
x 9.5	x 0.37	0.89	73.84	49.61	87.74	36.39	10,905.26	879.99	671.87	11.15	21,768.90	1,345.38
x 12.7	x 0.50	1.18	97.46	65.47	115.48	27.45	14,110.25	1,150.37	871.79	11.05	28,220.49	1,737.03
356 x 6.4	14 x 0.25	0.59	54.70	36.75	65.16	60.27	9,947.93	724.31	558.80	12.37	19,895.86	1,117.60
x 7.9	x 0.31	0.74	67.96	45.66	80.65	48.05	12,278.83	896.37	689.90	12.32	24,516.03	1,379.79
x 9.5	x 0.37	0.89	81.30	54.62	96.77	39.96	14,526.48	1,066.80	816.08	12.27	29,052.95	1,638.71
x 12.7	x 0.50	1.18	107.41	72.16	127.74	30.14	18,855.28	1,396.18	1,061.88	12.17	37,752.19	2,130.32
x 15.9	x 0.62	1.48	133.02	89.36	158.06	24.03	22,975.97	1,720.64	1,292.94	12.07	45,785.46	2,589.16